

A NÖVÉNYTÁPLÁLÁS ALAPELVEI ÉS MÓDSZEREI

DR. KÁDÁR IMRE

**2. (reprint) kiadás
Budapest, 2016**

A NÖVÉNYTÁPLÁLÁS ALAPELVEI ÉS MÓDSZEREI

ISBN: 978-615-5387-07-4

DR. KÁDÁR IMRE

Lektorálta:

Dr. Sarkadi János, a mezőgazdasági tudomány doktora

Dr. Balla Alajosné, a mezőgazdasági tudomány kandidátusa

**Magyar Tudományos Akadémia
Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete
Budapest, 1992**

PRINCIPLES AND METHODS IN PLANT NUTRITION

ISBN: 978-615-5387-07-4

by

IMRE KÁDÁR

**Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry
Department for Agricultural Chemistry and Plant Nutrition**

Budapest, 1992

ELŐSZÓ

Mindazon név szerint nem említett kutatók százainak ajánlom itthon és külföldön, akik lelkesedése és szorgalma nélkül nem beszélhetnénk a növény táplálás mai fokon művelt tudományáról.

Számos monográfia tárgyalja a növény táplálás különböző területeit idegen nyelven. Ezek a művek azonban azon túl, hogy nem nyújtanak áttekintést az itt vázolt téma egészéről, nem a hazai olvasó számára íródtak és minden további nélkül nem vehetők át. A más természeti körülmények között nyert kutatási eredmények és tapasztalatok csak a hazai kutatások tükrében adaptálhatók. A növény táplálással, talajjal és annak termékenységével összefüggő ismereteink a nemzeti tudományok körébe tartoznak. Hasonló áttekintő munka a magyar irodalomban nem lelhető fel.

A növény táplálás alapelveinek és módszereinek bemutatása kapcsán a szerző ismerteti azokat a fő kérdéseket, amelyek a kutatókat foglalkoztatták a múltban. Kitér azok kezdeteire, kialakulásukra, fejlődésük stádiumaira, a módszerek elvi korlátaira, kapcsolatukra más módszerekkel és érinti jövőjüket is. A probléma leszűkítése a jelenkori felvetésre, elhanyagolva a jelenség történelmi gyökereit, nem tenné lehetővé a hallgató és az olvasó számára a kritikai ítéletalkotást.

Fontos hangsúlyozni, hogy a növény táplálással összefüggő bonyolult jelenségek megismeréséhez vezető legjobb út az elődeink kísérleteinek és tapasztalatainak tanulmányozása. A magyar agronómiai, valamint a növény táplálással és talajtannal foglalkozó irodalom tudománytörténeti szempontból, nemzetközi mércével mérve is rendkívül színvonalas és gazdag. Erre a nemzeti kincsre támaszkodtunk.

A történelmi megközelítésen túl a szerző igyekszik feltárni a jelenségek és összefüggések tágabb hátterét. A növény társélőlényünk. Éppúgy szüksége van napfényre, levegőre, vízre, talajra stb., mint az embernek. A táplálkozás is összeköt bennünket. Fogyasztjuk a növény által előállított táplálékot, s amikor "por és hamu" leszünk, növényi táplálékul szolgálunk. A kutatások kezdeteinél még együtt jelent meg a talaj, növény, állat, ember, valamint a víz és a levegő. Tehát a bioszféra egészében gondolkodtak nagy elődeink, ha nem is így nevezték. A jelenkori környezetszennyezés rákényszerít bennünket, hogy újra egészében próbáljuk meg látni a világot; az egyedi jelenségeket és mechanizmusokat pedig összefüggéseikben, ahogy azok a természetben megnyilvánulnak.

Valójában egyre többet tudunk egyre kevesebbről. A munkamegosztás és a specializáció miatt a legtöbb ember (szakember) elvesztette áttekintését az "egész"-ről. Veszélyes állapot ez, mert így nem érzi felelősségét cselekedetei következményeiért és a jövőért. A rövidlátó technikai szemléletet fel kell számolnunk. Nem engedhető meg, hogy pl. a kutatás, oktatás és a gyakorlat atomizált részterületeket jelentsen. Alternatívát esetleg a hosszú távú ökológiai szintézis és megközelítés jelenthet. Nem a régi eljárások egyszerű felújításáról van szó, hiszen

már a korábbi kultúrákban és gazdálkodás körülményei között is "sikerült" termékeny régiókat tönkretenni, hanem a természeti törvények mélyebb megértéséről és tiszteletéről.

A szerzőnek sok örömet és élményt jelentett az elmúlt negyedszázad során, hogy aktívan részt vehetett a növénytaplálási kutatásokban. Reméli, hogy élményeit sikerül olvasóival megosztani. E célból (valamint hangsúlyozva, hogy a példa ereje mindig meggyőzőbb) igyekszik a kísérletek konkrét adatain bemutatni a növénytaplálási módszerek és eljárások mikéntjét, a tudományos megközelítés logikáját. Követi azt az elvet, hogy az alapvető tanulságokat világosan és közérthető módon, a legegyszerűbben kell megfogalmazni. A mondanivaló kiemelését szolgálja a főbb megállapítások pontokba foglalása, lehetőleg tömondatos formában. A kísérletes anyag bemutatásakor a szerző természetszerűleg elsősorban a saját és közeli munkatársai kísérleteire támaszkodott, melyek körülményeit részleteiben is ismerte, hitelesnek ítélte, valamint az ismeretszerzés élményében osztozott.

Az említett kutatások nem jelentettek bezártságot (szobatudós), hanem utazást a múltba és ismerkedést a jelentős kortársakkal a világ számos térségében. A tudomány minden korban nemzetközi, a nemzeti jellegű tudományok művelése sem nélkülözheti e kapcsolatokat. A természeti és gazdálkodási körülmények ismerete nélkül, csupán a nyelvet elsajátítva a szakcikkek sem érthetők meg igazán. A szerző pl. felkereshette és a helyszínen tanulmányozhatta az öntözéses gazdálkodást Közép-Ázsiában, É-Koreában és Kaliforniában. A trópusi gazdálkodást Mexikó, Kuba és Havai földművelésében. A hideg égöv sajátosságait Skandinávia sarkkörti övezeteiben és Alaszkában. A mérsékelt égöv kis- és nagyüzemi gazdálkodásának típusait Kelet- és Nyugat-Európa, valamint az Egyesült Államok térségeiben.

Ugyanilyen fontos az élő kapcsolat és állandó eszmecsere a világ vezető kutatóival. A szerző abban a szerencsében részesült, hogy együtt dolgozhatott hosszabb időn át olyan ismert kutatókkal, ma már a szakterület klasszikusainak tekintett személyiségekkel és azok munkatársaival, mint pl. Bergmann és Neubert (Németország), Steineck (Ausztria), Cerling, Minejev, Vlaszjuk (Szovjetunió), Baier, Bedrna (Csehszlovákia), Chapman, Pratt, Page (Riverside, USA), Peck, Kurtz (Urbana, USA) stb.

A szerző köszönetét fejezi ki mindazon személyeknek és intézményeknek, melyek a kutatások támogatásában és a könyv elkészítésében segítséget nyújtottak. A 9. fejezet (Környezetvédelmi vonatkozások) munkái döntően a Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium, más kutatások az MTA AKA, OTKA, MÉM-FM, valamint az OMFB támogatását élvezték. A kutatások és a kísérletek infrastruktúrát (kísérleti helyek, laborháttér) és sok pénzt igényelnek. Évente 8-10 millió forint közvetlen költséggel számolva, a bemutatott kísérletek több száz milliós értéket képviselnek. A valódi érték azonban nem fejezhető ki forintban, hiszen egyedi és megismételhetetlenek, több évtizedes tartamhatásokat takarnak. Csupán a műtrágya-felhasználás éves értéke 10-20 milliárd forint volt a 80-as években Magyarországon. Az említett kutatások részeredményei fokozatosan beépültek az oktatásba és a szaktanácsadásba, ha nem is átfogóan és nem is azonnal.

Hálával tartozom mindenekelőtt közvetlen munkatársaimnak, név szerint dr. Sarkadi János és dr. Balla Alajosné lektoroknak aprólékos és fáradhatatlan tevékenységükért, dr. Csathó Péter munkatársnak a kézirat összeolvasásáért és észrevételeiért, valamint dr. Pintér Nándornénak a kézirat színvonalas gépeléséért és szerkesztéséért. Úgyszintén a kísérleti telepek és a laboratórium dolgozóinak, valamint Koncz József laborvezetőnek áldozatkész tevékenységükért. Az angol nyelvű összefoglaló dr. Thamm Frigyesné munkáját dicséri.

A könyv ajánlható a mezőgazdaság, a környezetgazdálkodás, a biológia, a földrajz, valamint a környezetvédelem terén dolgozó és a növénytaplálás iránt érdeklődő szakembereknek, e fakultásokon tanuló egyetemi és főiskolai hallgatóknak. A munkával kapcsolatos mindennemű kritikai észrevételt hálával fogad a szerző abban a reményben, hogy későbbi tevékenysége során azokat hasznosíthatja.

Budapest, 1992. április

A Szerző

ELŐSZÓ

A könyv 24 évvel ezelőtt 1992-ben jelent meg 1000 példányban, és néhány év alatt hiánycikké lett. Hasonló összefoglaló módszertani munka azóta sem készült. Megállapításai éppúgy iránymutatóul szolgálhatnak ma is, mint közel negyedszázaddal ezelőtt. A mintegy 400 oldalas mű 10 fejezetre tagolódik, közel 90 jól szerkesztett táblázatot és ábrát tartalmaz. Nyelvezete olvasmányos, jól követhető. Sarkadi János professzor az Agrokémia és Talajtan folyóiratban méltatta a kiadványt még a megjelenés évben, a 41.kötet 3-4. száma 412-414. oldalain. Ebből idézünk:

„Összefoglalóan megállapítható, hogy a könyv igen széles területet ölel fel, tükrözve a szerző átfogó ismereteit. Külön értéke a fejezetenként összeállított és jól válogatott szakbibliográfia. Utóbbi nagy segítséget adhat a speciális területek iránt érdeklődőknek... A kézikönyv egészében ajánlható az agronómia (agrokémia, talajtan, növénytermesztés), környezetgazdálkodás, biológia és környezetvédelem terén dolgozó kutatóknak, oktatóknak és egyetemi hallgatóknak. A benne foglalt ismeretanyag orientálhatja az országos hatáskörű intézmények döntéshozóit, a szaktanácsadót. Valamint jól segítheti a gyakorlati növénytermesztőt mindennapi tevékenységében.”

Szerző a kiadvánnyal az MTA Doktora címet nyerte el. A könyvet változatlan formában adjuk közre. Kiegészül az Agrokémiai és Növény táplálási Osztály 2 oldalas tematikájának ismertetésével, valamint a „Kísérletügy. A szellemi hagyaték gondozása” című 4 oldalas anyaggal. Végül ismerteti két oldalon az Intézetünk 1980-2016 között megjelent kiadványainak jegyzékét.

2016. május

Dr. Csathó Péter
MTA Doktora

TARTALOMJEGYZÉK

1. A mezőgazdaság fejlődéstörténete és a talaj termékenysége.....	9
1.1 Trágyázás a műtrágyák megjelenése előtti korokban	11
1.2 A műtrágyázás kialakulása és jelentősége	12
1.3 A műtrágyázás megítélésének néhány aspektusa	14
1.4 Eltérő gazdálkodási módok tápelem (műtrágya) igénye	17
1.5 Irodalom	19
2. Talajtermékenység megőrzése a hagyományos gazdálkodási rendszerekben.....	21
2.1 Talajtermékenység fenntartása trágyázás nélkül	21
2.2 Talajtermékenység fenntartása és növelése trágyázással.....	23
2.3 Talajtermékenység fenntartása Észak-Korea földművelésében	24
2.4 A trágyaszerzés kényszere és a művelésbevitel tartamhatásának tanulmányozása Észak-Korea polderein	26
2.5 Irodalom	30
3. A tápelemmérleg alapelvei és módszere.....	31
3.1 Az országos tápelemmérlegek előzményei és módszere	31
3.2 Tápanyaggazdálkodásunk 1932-1975. között	36
3.3 Tápelemmérlegünk egyenlege 1984-ben, ill. a századforduló óta	39
3.4 A tápanyagmérlegek, a talajok tápelemellátottsága és a műtrágyázás összefüggése.....	44
3.5 Északnyugat-Európa és Magyarország gazdálkodásának összevetése	48
3.6 Németország, Ausztria és Magyarország NPK mérlegének összehasonlítása.....	49
3.7 Műtrágyák terjedését gátló szemléletek és a műtrágyázási trendek elemzése.....	51
3.8 Regionális tápelemforgalmi vizsgálatok Ausztriában.....	54
3.9 A tápelemmérlegek alapelveinek és módszereinek összefoglalása	58
3.10 Irodalom	61
4. A szabadföldi kísérletezés alapelvei és módszere	64
4.1 A szabadföldi kísérletek kialakulása és az agronómiai tudomány	65
4.2 Szabadföldi kísérletek és a hazai agronómiai-kémiai iskola.....	67
4.3 Újabb szemléletek a szabadföldi kísérletezésben	73
4.4 A műtrágyázás, mint a környezetterhelés okozója	86
4.5 A tápláltság, hozam, minőség, betegségek, gyomosodás összefüggései	90
4.6 A szabadföldi kísérletek jellege, korlátai	103
4.7 A szabadföldi kísérletek főbb típusai	106
4.8 A szabadföldi kísérletek jövője.....	108
4.9 Irodalom	109
5. A talajvizsgálatok alapelvei és módszere	113

5.1	A talajvizsgálatok (TVG) kialakulása, története	114
5.2	A talajok P-állapota és a P műtrágyázás kapcsolata.....	115
5.3	A növényi tápanyagok felvehetősége és a trágyahatások.....	121
5.4	A rutin talajvizsgálatok korlátairól.....	125
5.5	A trágyaigény becslésének néhány problémája.....	128
5.6	Talajvizsgálatokra alapozott trágyázási szaktanácsadás elemei	130
5.7	Talajmintavétel alapelvei és módszere	135
5.8	Talajmintavétel hibaforrásai és a heterogenitás problémája	137
5.9	Rézminták számának meghatározása	138
5.10	Párhuzamos átlagmintavétel és az ismételt laborvizsgálatok	142
5.11	Átlagminta képzésével szembeni követelmények.....	143
5.12	Mintavétel ideje és a talajvizsgálatok szezondinamikája.....	146
5.13	Talajvizsgálatok megítélése a hazai agronómiai, agrokémiai gondolkodásban	152
5.14	'Sigmond munkássága és a hazai talajvizsgálatok fejlődése	154
5.15	Talajvizsgálatok 'Sigmond után	158
5.16	Irodalom.....	161
6.	<i>A növényanalízis alapelvei és módszere</i>	169
6.1	A növényanalízis kialakulása és elterjedésének tényezői.....	169
6.2	A növényi tápelemkoncentráció és a hozam összefüggése	172
6.3	A növény kora és a tápelemtartalom problémája, valamint a fajtakérdés	174
6.4	A tápelemarányok problémája	178
6.5	Az időjárás tényezői, az évhatás problémája.....	184
6.6	A növénymintavétel alapelvei és módszere	190
6.7	A növényi tápelemtartalom heterogenitása és a mintavétel.....	191
6.8	A növényvizsgálatra alapozott trágyázási szaktanácsadásról	198
6.9	A növényanalízis és a környezetvédelem, jövőbeni feladatok.....	199
6.10	Irodalom.....	206
7.	<i>A tenyészedénykultúrák alapelvei és módszere</i>	210
7.1	Történeti előzmények	210
7.2	A tápoldatos kultúrák alapelvei és módszere.....	213
7.3	A tápoldatok összeállításának problémája.....	215
7.4	A talaj nélküli termesztés lehetőségei, előnyei és korlátai	218
7.5	A homok és talaj tenyészetek sajátosságai	220
7.6	A tenyészedény kísérletek eredményeinek gyakorlati interpretálása	222
7.7	A tápoldatos kísérletek eredményeinek interpretálása	230
7.8	A szabadföldi mikroparcellás kísérletek alapelvei és módszere	236
7.9	A liziméteres kísérletek alapelvei és módszere	237
7.10	Irodalom.....	242
8.	<i>Vizsgálatok kísérletek nélkül. A passzív megfigyelésen és adatgyűjtésen alapuló kutatások alapelvei és módszere</i>	245
8.1	Általános megközelítés, a módszer alapelvei és elterjedése	245
8.2	Az eredmények értékelése.....	247
8.3	A DRIS módszer ismertetése	256
8.31	Elvi megfontolások	256
8.32	A módszer elemei és végrehajtása	258
8.33	A módszer ellenőrzése saját kísérletben.....	260
8.4	Irodalom.....	263

9. A növénytáplálás környezetvédelmi vonatkozásai.	267
9.1 A környezetszennyezés forrásai és következményei. Általános megközelítés	267
9.2 A toxicitás problémája és a határkoncentrációk megállapítása	274
9.3 A környezetszennyezés történelmi megítélése, az ember és a környezet viszonya	276
9.4 A környezetvédelem kialakulása, nemzetközi és hazai előzményei	281
9.5 Viták a műtrágyázásról és a műtrágyák okozta környezetszennyezésről az 1980-as évek végén szakkörökben Magyarországon	283
9.6 A nitrogénforgalom és a nitrátkérdés	290
9.7 A foszfor és a kálium forgalma, valamint a környezetterhelés	302
9.8 A környezetszennyezést okozó mikroelemek, toxikus nehézfémek	303
9.9 A svéd mezőgazdaság megítélése környezetvédelmi szempontból	309
9.10 Adatok a közlekedés (M-7 autópálya), valamint a település és ipar (Budapest) által okozott környezetterheléshez	315
9.11 Adatok a műtrágyák által okozott környezetterheléshez	321
9.12 Adatok a szántóföldi növények háttérszennyezéséhez és a felvétel dinamikájához	324
9.13 Meszezés és műtrágyázás hatása a környezetszennyező elemek felvételére	328
9.14 Terhelési kísérlettel végzett vizsgálatok eredményei szabadföldön	334
9.15 Irodalom	342
10. Az alternatív (fenntartó, biológiai) gazdálkodás alapelveiről	348
10.1 Az alternatív, valamint a kemizált gazdálkodással kapcsolatos nézetekről	348
10.2 Az alternatív gazdálkodás általános megítélése	350
10.3 A tápláléklánc és a műtrágyázás összefüggéseiről, valamint az ökológiailag kívánatos tápanyagutánpótlásról	353
10.4 A közelmúlt gazdálkodásának, valamint a környezet (talaj) terhelésének megítélése és összevetése Nyugat-Európával	356
10.5 A jövő feladatairól és a kutatási prioritásokról	358
10.6 Talajtermékenység megőrzése a fenntartó gazdálkodásban	362
10.7 A fenntartó műtrágyázási szaktanácsadás alapelveinek és módszerének bemutatása a napraforgó példáján	366
10.8 Szükségszerűen vezet-e a műtrágyázás genetikai degradációhoz	372
10.9 Megjegyzések a gazdálkodás energiamérlegének megítéléséhez	377
10.10 Irodalom	380
English summary	
Foreword	384
Tables	386
Content	408
11. Hagyaték: Szabadföldi kísérletek	411
12. MTA TAKI Agrokémiai Osztály	417
13. Kiadványok jegyzéke	408

1. A MEZŐGAZDASÁG FEJLŐDÉSTÖRTÉNETE ÉS A TALAJ TERMÉKENYSÉGE

*"Aki nem ismeri a múltat,
nem kerülheti el a megismétlést"*

GEORGE SANTAYANA

A mezőgazdaság és az emberi civilizáció fejlődését vizsgálva Salmon és Hanson (1970) a következőket írja:

"Az ember mindazon eredményei közül, melyeket az utóbbi 150 évben elért, talán semmi sem járult hozzá jobban jólétének növekedéséhez, mint a mezőgazdaság fejlesztése. Az emberek általában tisztában vannak az élelem és a ruházkodás jelentőségével és azzal is, hogy mi a szerepe a mezőgazdaságnak az ehhez szükséges alapanyagok előállításában. De kevésbé ismert az, hogy az egész civilizáció alapja az a különbség, amellyel a gazda saját szükségleténél többet termel. Még 150-200 évvel ezelőtt is a lakosságnak 90 %-a, néha még annál is több a mezőgazdaságban dolgozott. Férfiak, nők és gyerekek naponta sok-sok órán át nagyon keményen dolgoztak csak azért, hogy saját létüket fenntartsák."

A termelőerők fejlődése azóta igen meggyorsult és a fejlett országokban alapvető változások következtek be a mezőgazdasági termelésben. A gépesítés lehetővé tette, hogy csökkenjen a mezőgazdaságban foglalkoztatottak száma. Az új növényfajták és agrotechnikai eljárások bevezetése, valamint a javuló tápanyagpótlás megalapozta a termékek emelkedését.

A mezőgazdaság azonban változatlanul ma is egy egész ország, gazdaság, ill. nemzet jólétét tükrözheti és meghatározhatja. Jelentősége túlnő egy gazdasági ágon és végső soron a civilizációnk létalapját, előfeltételét képezi. Nemcsak a gazdasági fejlődés korai szakaszában található országok esetében. A FAO már a 60-as évek közepén megállapítja India tapasztalataira utalva, hogy a fejlődő országok gazdasági felemelkedése a mezőgazdaság gyors ütemű fejlődésén keresztül vezet (Parker 1965). A volt szocialista országok jóléte és stabilitása szemmel láthatóan napjainkban is az élelmiszertermelés, ill. a mezőgazdaság állapotának függvénye. Az Egyesült Államok gazdaságát, népének magas életszínvonalát, kereskedelmének stabilitását szintén a fejlett mezőgazdaság garantálja (Fact Book 1984).

Áttekintve a mezőgazdaság fejlődéstörténetét több földművelési rendszert különböztethetünk meg napjainkig. Minden történelmi korban más és más földművelési rendszer volt uralkodó. Így pl. a parlagos gazdálkodás alapvetően az ősközösségi társadalmakra jellemző. Az ugaros két- és háromnyomásos gazdálkodás helyenként 1-1.5 ezer évig állt fenn a feudalizmus fő földművelési rendszereként Európában. A vetésváltást a korai kapitalizmus kibontakozó igényei ösztönözték az 1700-as évek második felétől stb.

A rabszolgatartó társadalmakban a belterjességre való törekvés nyilvánult meg. A birodalmak stabilitása a talajtermékenység megőrzését és újratermelését igényelte. Az ún. "ázsiai termelési mód" országaiiban, mint pl. Kína esetén év-

ezredekig az öntözéses gazdálkodás volt a meghatározó. Marx (1953) szerint a központi államhatalom, ill. a keleti despotizmus saját intézményének alapvető gazdasági funkciója az öntözőrendszerek létrehozása és fenntartása volt. Ez a feladat ugyanis az egész társadalom összefogását követelte, ill. csak állami szinten lehetett megoldani.

Lássuk, hogyan alakult a talajok termékenysége (tápanyagforgalma) a különböző történelmi korokban fennálló földművelési rendszerekben!

Kezdetben a termékenységükben leromlott területek helyett mindig új, erdő vagy gyeptakaró alatt regenerálódott talajokat vontak be a termesztésbe. Ez jelentette a vándorló, parlagos földművelést. Amíg a parlagoltatás ideje a 25-30 esztendő meghaladta, addig a termékenység helyreállításának ez a módszere hatékony volt a gyepes területeken. Ha ugyanis a parlag növénytársulásainak a fejlődése áthalad a Kosztücevsz (1881) által a múlt század második felében leírt stádiumok közül a gyomos, tarackos és a lazán bokrosodó füves stádiumon, a talaj szerkezete helyreáll és termékenysége megnő. A sűrűn bokrosodó füves stádiumon is túljutott parlag talajának termékenysége pedig a szűzföldekéhez válik hasonlóvá.

Kosztücevsz (1881) és később Viljamsz (1950) kimutatták, hogy nem önmagában a talaj pihentetése, hanem a parlagon megtelepedő növényzet állítja helyre a termékenységet. Kosztücevsz azonban Viljamsz-szal ellentétben nem állította, hogy a talajszerkezet romlása képezi a terméscsökkenés fő okát a szűzföldek feltörésekor. Szerinte a döntő szerepet gyakran nem is a föld kimerülése, tápanyagokban való elszegényedése, hanem az elgyomosodás játszotta. A művelésbe vételt követő 5-6 évig monokultúrában tavaszi kalászosokat vetettek és a szántó annyira elgyomosodhatott, hogy kifizetődőbb volt új területet meghódítani. Az 1-2 éves ugarnál, tehát a rövid parlagnál a gyomok ugyanis fennmaradnak. Vorobjeva és Burov (1964) szerint Kosztücevsz állításait a közelmúlt tapasztalatai, Szibéria és Kazahsztán szűzföldjei igazolták.

Idővel azonban a szántó területe nőtt, a parlagoltatás ideje pedig egyre kisebb lett. Egyidejűleg csökkent a két parlag közti művelésbevétel időtartama. Fokozatosan kialakult a helyhez kötött ugaros földművelés. A korai középkorban elterjedtebb kétnyomásos gazdálkodásban a földek fele pihent, másik felében őszi vagy tavaszi gabona termett. Az ugar legfejlettebb formája a művelt fekete ugar. A művelés elősegíti ugyanis a gyomirtást, valamint a víz és a felvehető tápanyagok akkumulációját a következő évi termés számára. Mindezt elősegítette az egyre tökéletesebb eketípusok megjelenése.

A népesség növekedésének hatására a földeket később már csak minden harmadik évben pihentetik, tehát a művelt területnek csak 1/3-a pihen. A talajok igénybevétele egyre intenzívebbé válik. Művelik az ugart és fokozatosan mélyül a szántás. Mindezek a beavatkozások már nem elégségesek. Egyre gyakrabban csökken a termés. Európában sokasodnak az éhínségek és a járványok. A népesség növekedése arányában a réteket szintén felszántották, így csökkent azok szántót tápláló funkciója. A termések a XVIII. században Európa nagy részén 0.5-0.7 t/ha körül stabilizálódtak. Az éhínség réme a Föld egészét, az emberi civilizációt fenyegette. Malthus (1766-1834) ismert törvénye a túlnépesedésről és

következményeiről szabatos vizsgálatokon alapult, mégpedig az 1650-1800. évek statisztikai elemzésein.

1.1 Trágyázás a műtrágyák megjelenése előtti korokban

Bár a növény táplálással és talajtermékenységgel kapcsolatos kutatások csak néhány évszázadra vezethetők vissza, az emberiség számos megfigyelést és hasznos tapasztalatot gyűjtött az ezt megelőző évezredek folyamán is. Az ókori görögök és rómaiak az i.e. megjelent írásaikban ismertették a különböző beavatkozások talajtermékenységre gyakorolt befolyását. Megemlítik, hogy a baromfitrágya hatásosabb mint a marha- vagy juhtrágya. Ismerték az ugarolás kedvező hatását, a zöldtrágyázást, a hüvelyesek termésnövelő szerepét. Alkalmazták az ásványi trágyákat mint a márgát, gipszet, meszet, fahamut és tudomásuk volt a növényváltás előnyeiről. Tudományos magyarázatokkal természetesen nem tudtak szolgálni.

A termésekkel kivont tápanyagok visszajuttatásának szükségességét a legpregnansabban Liebig világította meg tudományos alapossággal és ennek elhanyagolását rablógazdálkodásnak nevezte. Véleménye szerint az utóbbinak tudható be számos régi birodalom fölbomlása és a népvándorlások. A népvándorlás általában egy terméketlen, adott népsűrűséget eltartani nem bíró országból indul ki és veszi útját egy gazdagabb terület felé. Az ókori Görögország termékenységtől megfosztott területein még a Római Birodalom létrejötte előtt megkezdődik az elvándorlás a Fekete- és a Földközi tenger partvidékére.

Arisztotelész szerint i.e. 479-ben a spártai állam 8000 harcost tudott kiállítani a perzsák ellen, míg 150 évvel később ezret sem volt képes összeszedni a megfogyatkozott lakosságból. Róma hanyatlására utalva Columellát idézi Liebig, aki az i.sz. 100-as években a termések csökkenéséről ad számot. "Nézetem szerint - írja Columella - az látszik bizonyosnak, hogy a föld, mint mi emberek is, elöregedett és terméketlensége inkább elődeinktől származik, akik annak művelését tudatlan cselédek kénye-kedvére bízták." (In: Dorner 1925).

Ázsia kultúrái már évezredekkel ezelőtt rendszeres trágyázást folytattak (Kína, Japán, Délkelet-Ázsia népei). Ennek legfőbb oka volt, hogy a nagy népsűrűség mellett nem rendelkeztek művelésbe vonható termékeny földterületekkel. A Biblia szerint Palesztina szintén ismerte a trágyázás jelentőségét. Jeruzsálem városa a környéki gazdáknak eladott trágyából már az ókorban tekintélyes jövedelmet húzott. Egyiptom különleges helyzeténél fogva nem állati vagy emberi ürülékkel trágyázott, hanem a Nílus iszapjával.

Homérosz Odüsszeia hőskölteményében Argos kutya Odüsszeusz trágyatelepét 20 évig őrizte. Az ókori görögök tehát a trágyát becsben tartották és őrzésre méltó értéként kezelték. A rómaiaknál a földi jólét istene Saturnus volt, akinek a Stercutius melléknevet adták és ekként mint a trágyázás istenét tisztelték. (A trágya latin neve stercus). A római birodalom pusztulását követően a megritkult lakosság elegendő földet tudott művelésbe vonni. A mezőgazdaság trágyaéhsége azonban az 1500-as évektől folyamatosan nőtt.

A sűrűn lakott Hollandiában már az 1500-as években élénk trágyakereskedelem (Dreakhandel) folyt. A gazdák az árnyékszékék tartalmára árverésen pályáztak. Többet fizettek a gazdag papi rendházak trágyájáért, mint a

kaszárnnyak vagy fegyházak fekáliájért. Felismerték tehát azt az összefüggést, hogy a trágya minősége a táplálkozástól függ. Árverés előtt a gödör tartalmát meg-mérték, megvizsgálták, sőt meg is ízlelték. A trágyahamisítást büntették. A XVIII. sz. vége felé már nemcsak az állati és emberi trágyát gyűjtötték össze, hanem az állati hullák húsát és véré, valamint a kémények kormát is (Dorner 1925).

Mint minden sűrűn lakott és állatszegény vidéken, úgy Itáliában is gondosan gyűjtötték a trágyákat. Pethe (1805) szerint kosarakkal szedik az utcán a számár és öszvérganét, sőt ... "kilesik a számárból, mikor ez az utcán megyen". Dívik a fekálereskedelem, a protestánsok árnyékszékeinek tartalmáért többet fizettek, mint a sokszor böjtölő katolikusokéért.

Franciaországban az árnyékszékek csak a XVII. században terjednek. A relatíve nagyobb földtartalékok késleltették a fekál összegyűjtését. Boussingault (1802-1887) neves francia vegyész 1844-ben egzakt vizsgálatokkal bizonyítja, hogy a nagyvendéglők fekáliája magasabb tápértékű, mint a kaszárnnyaké. A fekált szárítva és tőzeggel vagy pelyvával keverve pudrettként árusították. A "poudrette" készítése virágzó iparaggá fejlődött Párizsban. Sőt a pudrett világkereskedelmi cikké vált és 1867-ben törvényt hoztak a trágyakereskedelem szabályozására.

A német területeken még az 1700-as években is az volt a szokás, hogy ha egy fekálgödör megtelt, betemették és újat ástak mellette. Az 1800-as évek közepétől azonban itt is kereskedelmi cikk lett a szemétként kezelt trágyákból. (A Dünger és a Mist analóg jelentésű a németben). Nyugat-Európában tehát megindul a fekália összegyűjtése, melyet higiéniai okok is indokolnak a városokban. Kezdetben még a városok fizetnek az elfuvarozásért, később azonban árverések útján értékesítik azt.

Kelet-Európában ezzel szemben a trágyakezelésre kevés gondot fordítanak. Itt még elégséges földterület áll rendelkezésre. Így pl. a magyar Alföldön az 1800-as évek elején, helyenként a XX. század elejéig, még szinte általános gyakorlatnak számított az istállótrágya eltüzelése. A nem túl régen feltört területeken egyáltalán nem volt szükség trágyázásra (Ditz 1867, Cserhádi és Kosutány 1887). Oroszország és Szibéria legtöbb vidékén a trágyát gyakran a folyópartra vitték vagy a folyóba dobták és szemétként kezelték. Több útleírás arról tudósít, hogy pl. "tavasszal a szibériai folyók szinte medrükből kilépnek, mert a jégzajlást a trágyahalmok akadályozzák".

1.2 A műtrágyázás kialakulása és jelentősége

A parlagos földművelési rendszerben a talajtermékenység helyreállítása még pusztán egy természeti folyamat eredménye. Az ugaros földművelési rendszerben a termések növekedése akkor indult meg igazán, amikor az istállótrágya összegyűjtésére, helyes kezelésére és felhasználására nagyobb gondot kezdtek fordítani Thaer (1752-1828) munkássága nyomán a múlt század fordulóján. Az istállótrágyázás elterjedésével a szántó termékenységének fenntartásához lényegesen kisebb rét terület elegendő, mint a parlagos rendszerben (Láng 1960, Kádár 1978, 1979).

A soron következő vetésváltó földművelés viszonyai között az istállótrágya szerepe változatlanul nagy, bár módosul a szántót tápláló funkciója, mert az állandó gyepek és a szántó aránya megváltozik. Az ugar helyébe részben a kapások lépnek, melyek átveszik a gyomirtó funkciót, a pillangós takarmányok pedig a rétet és a legelőt hivatottak helyettesíteni. Ez a helyettesítés azonban változást jelent. A pillangósok közvetítésével több nitrogén jut a talajba részben közvetlenül a gyökérmaradványok útján, részben pedig a pillangós takarmányok etetése révén az istállótrágyán keresztül is. A gazdálkodásnak ezt a viszonylagos N telítettségét sokáig nem vették észre - mint ahogy nem vesznek tudomást a levegőről sem, melyet belélegeznek - míg Boussingault nem hívta fel a figyelmet erre, állapítja meg Prjanisnyikov (1945).

A talajok javuló nitrogén ellátottsága mellett felismerték a foszfor hatását a termésekre, mely egyre inkább minimumba került. Liebig (1840) a hamualkotó elemek, elsősorban a foszfor és a kálium jelentőségét hangsúlyozta, részben lebecsülve a N trágyázás ill. a pillangósok szerepét. Azt gondolta, hogy N forrásként a levegő nitrogénje szolgálhat NH_4NO_3 alakjában. A múlt század 60-as éveiben, részben homok- és vízkultúrában folytatott kísérletek eredményei alapján világossá vált, hogy Liebig (PK), valamint Boussingault (N) gondolatát egyesíteni kell. Az "NPK" fogalma összefonódott a trágyázással és rövidesen a műtrágyázás alapjául szolgálhatott.

Prjanisnyikov (1945) a műtrágyázás kapcsán a földművelés új korszakáról beszél, melyet a termések folyamatos emelkedése jellemez. Az említett okok miatt elsősorban a foszfortrágyák iránt nőtt meg a kereslet és nem véletlen, hogy Lawes első műtrágyagyára Angliában szuperfoszfátot termelt. Alapanyagul kezdetben csontlisztet, majd guanót, a foszfáttelepek felfedezése után pedig nyersfoszfátot használtak. Ehhez járul még az a körülmény is, hogy a N műtrágyák ára a mezőgazdasági termékek árához viszonyítva kezdetben különösen magas volt. Így pl. Cooke (1965) adatai szerint míg 1963-ban 2.2 kg búza árért vásárolhattak 1 kg N műtrágya hatóanyagot az angol gazdák, 1932-ben 3.4 kg, 1913-ban pedig 8.3 kg búza árát kellett ezért fizetniük. Hasonló volt a helyzet Magyarországon is (Cserhádi és Kosutány 1887, Sarkadi 1975).

A mezőgazdaság teljesítőképességét alapvetően meghatározó növénytermesztés tehát a tápanyagpótlás színvonalának is függvénye. Cooke (1965) szerint a régebbi gazdálkodási rendszerek sikere attól függött, hogy mennyiben tudták a növényi tápanyagokat az istállótrágyával a talajba juttatni, ill. pillangósokkal a N többletet biztosítani. A bérleteknél előírt vetésforgó, bizonyos fajta termékek gazdaságon kívüli eladásának hagyományos tilalma a növényi tápanyagok megőrzését célozta.

A különböző földművelési rendszerek tápanyaggazdálkodásának vizsgálata nem csupán történeti érdekesség. Ismeretes, hogy Afrika számos vidékén a parlagos, vándorló földművelés ma is dívik. Baumgardner (1959) említi, hogy az Egyesült Államokban mihelyt egy farm rentabilitása a talaj kimerülése miatt csökkent, az új gazdaságot más helyre telepítették át. Ez az USA mezőgazdaságára több mint 200 éven át jellemző volt és már Liebig (1803-1873) is felfigyelt rá. A mezőgazdasági lakosság még századunk 30-as éveiben is tömegesen vándorolt az USA távolkekvő nyugati államaiba, hogy új földet keressen. Az

ősi módszert tehát az új korban is alkalmazták, ill. a gazdák kerülték a költséges trágyázást mindaddig, amíg arra rá nem kényszerültek.

A Szovjetunió egyes északi, északnyugati területein, ahol a podzolos kilúgzott, tápanyagszegény talajok vannak túlsúlyban, rendszeres trágyázás és melioráció nélkül nem kapnak stabil terméseket. A tápanyaghiány gyakran ugaron hagyott földeket von maga után napjainkban is. Ebből adódóan helyenként a szántó alig néhány %-ot képvisel a mezőgazdaságilag hasznosított területből Trutnyev (1963) szerint.

Az 1950-es éveket követően gyorsan nőttek a termések az Egyesült Államokban és ez az emelkedés több mint 40 %-ban a területegységről nyert terméstebbletekből származott, melyeket döntően a műtrágyázás javára írtak (Parker 1965). A műtrágya fontos szerepet játszik ma már a nemzetközi segélyprogramokban. A fejlett országokban 1960-ban mintegy 25 kg hatóanyag jutott egy főre, amely megközelítően 250 kg szemterméstebbletet jelenthet, míg a fejlődő országokban 1.3 kg - ami mindössze 13 kg várható többlettermésnek felelhet meg. A műtrágyafelhasználás nemzetközi tendenciáit korábban elemezve hasonló megállapításokra jut Latkovicsné (1972) is.

Összefoglalva a trágyázás ill. a műtrágyázás szerepét a termések emelkedésében, elfogadható Prjanisnyikov (1945) azon megállapítása, hogy a műtrágyázás kezdete óta mutatkozó látványos fejlődést mintegy 50 %-ban a műtrágyázásnak tulajdoníthatjuk. Másutt, elemezve a kemizáció szerepét a mezőgazdaságban, a következőket írja: "Ha megszüntetjük a műtrágyázást a termések csökkenni fognak, mint ahogy lecsökkentek Németországban a világháború első évétől kezdve, amikor a kémiai ipar műtrágyák helyett robbanóanyagot kezdett termelni. A termések a háború 4. évére a 75 évvel korábbi szintre zuhantak (Prjanisnyikov 1934). A közelmúlt tapasztalatai, hazai szabadföldi kísérleteink adatai alapján arra a következtetésre juthatunk, hogy ez a szigorú összefüggés jelenleg is fennáll. Műtrágyázás nélkül az 50-es, 60-as évek terméseit produkálnák a közelmúlt "iparszerű" termelési rendszerei.

1.3 A műtrágyázás megítélésének néhány aspektusa

A mélyebb megértés céljából vizsgáljuk meg a műtrágyázás helyét a mezőgazdasági termelés egészében, érintve az agrárökonómiai szempontokat, ill. a hatékonyság problémáját is.

A mezőgazdasági termelésre századunk eleje óta minden bizonnyal a gépesítés és a kemizáció volt a legnagyobb befolyással. Mindkét beavatkozás addig soha nem látott mértékben növelte a munka termelékenységét a mezőgazdálkodásban. A mechanizáció azon országokban, ahol drága vagy elérhetetlen a munkaerő, közvetlenül csökkenti az élőmunka igényt. A kemizálás ugyanezt azzal éri el, hogy a termést ugyanolyan munkaráfordítás mellett növeli. Tehát nő az élőmunka hatékonysága. Nyugat-Európában a mezőgazdaság kemizálása megelőzte a gépesítést. Nagyarányú termésnövekedéshez vezetett a műtrágyázás itt a földművelés fogatos korszakában is. Elsősorban a nagyobb népsűrűséggel párhuzamosan növekvő műtrágyafelhasználás határozta meg a kalászos gabonatermések szintjét a két világháború között (1.1 táblázat).

1.1 táblázat: A kalászosok szemtermése, valamint a kemizálás, gépesítés és a népsűrűség kapcsolata a két világháború között (Prjanisnyikov 1945)

Ország megnevezése	Szem t/ha	Műtrágya* NPK kg/ha	Traktor db/1000 ha	Népsűrűség fő/km ²
Hollandia	3.0	109	-	217
Belgium	2.8	89	1	257
Németország	2.2	67	-	138
Egyesült Államok	0.9	12	10	13

* N + P₂O₅ + K₂O kg/ha művelt területre vetítve

Az USA-ban és a Szovjetunióban fordított volt a sorrend. Először gépesítettek és csak később növelték a műtrágyák használatát. A gépi vonóerőre való áttérés 1953-ig lényegében befejeződött az USA-ban, a kukoricatermesztésben pedig áttértek a hibridek használatára. E két tényező 0.4-0.5 t/ha szemterméstöbbletet eredményezett. Az ezt követő időszakban megfigyelhető 1-1.5 t/ha termésemelkedés a kemizálásnak, elsősorban a műtrágyáknak volt tulajdonítható. (Györffy 1965, Tisdale 1966).

A múlt század 60-as éveiben, könyve VIII. kiadásához írt terjedelmes "Bevezetés"-ében Liebig (1876) még arról panaszkodik, hogy a közgazdaságtan tudománya érdemben nem vizsgálja a talajtermékenység ill. a trágyázás kérdését. Nem hajlandó az "alapok alapjával" foglalkozni, pedig minden gazdaság erre vezethető vissza. Az újabb keletű agrárgazdasági irodalomban, hazánkban is, megfelelő helyet kapott e problematika (Bérczi 1968, 1972; Mészáros 1972; Buzás 1987; Csete et al. 1974; Csizmadia 1973). A főbb megállapításokat az alábbiakban kíséreltem meg összegezni.

A fejlett mezőgazdasággal rendelkező országokban felismerték azt az összefüggést, hogy a mezőgazdaság más ágainak fejlődése a növénytermelés fejlettségének függvénye. A talaj termékenységének ill. tápanyagellátottságának kérdése tehát az egész mezőgazdaság jövője szempontjából meghatározó. A természeti újratermelési folyamat lényege az asszimiláció, központi kérdése pedig a tápelemgazdálkodás. Ez utóbbi pedig egyet jelent a növények által kivont tápanyagok szakadatlan pótlásával. Másképpen fogalmazva a talajtermékenység (bővített) újratermelésével, hiszen az nem pótlódik úgy, mint a csapadék az évenkénti esővel.

Az említett sajátosságok általában meghatározzák a bővített újratermeléshez szükséges eszközráfordítások arányosságát a mezőgazdaságban. A tápanyagellátottsággal közvetlenül kapcsolatos és a termésre közvetlenül ható ráfordítások elsődlegességének kell érvényesülnie. Az egyéb, a termelés feltételeit jelentő ráfordításokat az előbbiek függvényében és azokhoz igazodva célszerű növelni. Ebből a szempontból ugyanis a többi tényező az asszimiláció megvalósulását szolgálja és csak a tápláltság szintje által meghatározott mértékig lehet hatékony.

Valóban a műtrágyázás közvetlen célja és egyetlen funkciója a termések növelése, míg egyéb beavatkozásoknál ez inkább csak közvetetten áll fenn. Így pl. a gépek és gyomirtószerek alkalmazásával kézi munkaerőt helyettesítünk. A termés megőrzését, betegségek és kártevők leküzdését szolgálják a növényvédőszeresek. A talajművelés célja elsősorban a megfelelő vetőágy elkészítése, gyomirtás stb. Még a növény-nemesítésben is gyakran csak közvetett cél a termés növelése, hiszen a nemesítés irányulhat a nagyobb betegségellenállóságra, állóképességre, fagytűrésre, szárazságtűrésre, gépi betakarításra való alkalmasságra stb.

Természetszerűleg ez a felosztás nem jelenthet szembeállítást vagy valamilyen rangsorolást. A terméseket mindig valamely minimumban levő tényező limitálja, amely nem feltétlenül a tápelem. A termesztés szemszögéből legfontosabb tényező mindig a minimum tényező. Az említett alapelvek ebből adódóan inkább módszertani segédeszköznek tekinthetők az egymással kölcsönhatásban álló sokféle terméسالakító tényező jobb megismerésére, elemzésére.

A műtrágyák hatékonyságát említve többek között Pecznik (1969) utal arra, hogy a műtrágyaadag és a termés között egyenes korrelációt általában nem kereshetünk. Egy tényező növelésével párhuzamosan nem nő a termés, csak ha egy termelési tényező nagyon messze esik az optimumtól. Ebben az esetben a termés arányosan nőhet a hiányzó, limitáló tápanyag pótlásával. Minél jobban közeledünk az optimumhoz, annál kisebb lesz az illető tényező hatásfoka (csökkenő hozadék törvénye).

A hatékonyság fogalmát minden szerző bonyolult kategóriának tekinti, mert a műtrágyák hatását az objektív természeti tényezőkön túl a gazdasági, technikai feltételek is befolyásolják. Beszélhetünk elméleti vagy potenciális hatékonyságról. Itt feltételezzük, hogy az optimális arányban adott tápanyag teljes egészében beépül a növénybe és a termést a beépüléssel arányosan növeli. A növény tápelemtartalma alapján számított elméleti hatékonyság azt a maximumot mutatja, melyet általában nem érünk el, hiszen a tápelemek bizonyos transzformációs veszteségeivel számolnunk kell a trágya-talaj-növény rendszerben. Ismereteink bővülésével ezek a veszteségek a jövőben minden bizonnyal csökkenthetők és közelíthetünk az elméleti maximumhoz. A hatékonyság eme fogalma egyben rávilágít arra is, hogy a tápelem milyen fontos potenciális eszköz a terméshozamok növelésében.

Az adott és a növény által felvett tápelemek arányát a növénytáplálási irodalomban tápelem hasznosulásnak vagy érvényesülésnek nevezzük és %-osan fejezzük ki. A fogalom élettani értelmet takar, egzakt, jól definiált és kísérletesen mérhető. Az agrárgazdasági irodalomban általában a trágyázás gazdasági hatékonyságát, azaz az egységnyi trágyázási költségre vetített termelési értéket vizsgálják. Utóbbi érdeklődési körünkön kívülre esik, amennyiben nem a trágyahatások (terméstöbbletek) szabatos megállapítására épül, kontroll parcellát is magában foglalva.

A szabadföldi műtrágyázási kísérleteink részben természetes, részben mesterséges feltételei között meghatározhatjuk az ún. kísérleti hatékonyságot. Az agrokémiai irodalomban az 1 kg tápelem által indukált terméstöbbletekből számíthatjuk az átlagos és a hatásgörbe érintőjének meredeksége alapján marginális hatékonyságot. Ilyen módon összevethető pl. a frissen adott és a talajban maradt szuperfoszfát egyenértéke (Sarkadi és Kádár 1974; Kádár 1978). Átlagos

viszonyok között feltételezzük, kísérletes adatok híján, hogy 1 kg hatóanyag mintegy 10 kg szemterméstöbbletet eredményezhet a kalászos gabonáknál. Ezzel számol a FAO műtrágya-segélyprogramjaiban stb.

1.4 Eltérő gazdálkodási módok tápelem(műtrágya)igénye

A termőföld kihasználása egyre intenzívebbé válik a mezőgazdaság fejlődése folyamán. Ehhez alapvetően a hektáronkénti termésátlagok emelkedése, valamint a parlagon és az ugaron hagyott területek arányának csökkenése vagy megszűnése és intenzív növényekkel való helyettesítése járul hozzá. Így pl. a vetésforgóra való áttéréssel megszűnik az ugar, mely a szántó 50 ill. 33 %-át (két, ill. háromnyomásos gazdálkodás) foglalta el. E területek bevetése kapásnövényekkel, gyökértermésűekkel a hozamokat ugrásszerűen növelhet, mert ezek a kultúrák két-háromszor annyi száraanyag termelésre képesek, mint a kalászosok - jegyzi meg Prjanisnyikov (1945).

Ha az 1 ha szántóról nyert gabonahozamok alakulását vizsgáljuk, a fejlődés imponáló, a termések emelkedése az idő függvényében exponenciális görbéhez hasonló trendet jelez. Kísérreljük meg ezt a fejlődést számszerűen is jellemezni (Kádár 1979):

Parlagos gazdálkodás	0,1-0,2 t/ha
Ugaros gazdálkodás	0,4-0,6 t/ha
Vetésforgó a századfordulón	1,0-1,5 t/ha
Magyarország az 1970-es években	3-4 t/ha
Élenjáró üzemek az 1970-es években	5-6 t/ha
Élenjáró üzemek az 1980-as években	8-10 t/ha

Egyes vélemények szerint a kalászosok elméletileg 60 t/ha szemtermésre is képesek (Szozinov 1976), így várhatóan ez a fejlődés a távolabbi jövőt illetően is tovább tart majd. Eleddig ez a fejlődés együtt járt azzal, hogy soha nem látott mértékben nőtt az üzem tápanyagigénye. Összehasonlításképpen az 1.2 táblázatban bemutatjuk a növényi tápanyagvesztés becslését eltérő gazdálkodási viszonyok között egy 4 éves ciklus ideje alatt. Tehát a tábláról eltávozó azon tápelemek mennyiségét, amely az eladott termékekkel kikerülhet a gazdaság körforgásából.

A betakarított ill. eladott termés tápelemtartalmával becsült tápelemigény ugyan nem azonos a trágyaigénnyel, de első megközelítésben a trágyaigénnyel is informál. Mégpedig a talajok tápanyagkészletének fenntartásához szükséges igényről. És ez sem kevés, bár az optimális trágyaigény ilyen módon nem ismerhető meg.

Néhány módszertani megjegyzést kell fűzni az 1.2 táblázat adataihoz. A parlagos gazdálkodás során fellépő tápelemvesztések becslésénél abból indultunk ki, leegyszerűsítve, hogy a művelésbevetelt megelőző felégetés után 2 évig 0.5-1.0 t/ha a kalászos gabonák szemtermése, majd 8 éven át a terület parlagon marad. Így egy 10 szakaszos művelés esetén évente és ha-onként 0.1-0.2 t/ha szemtermés hozzáadással számolhatunk. A betakarítás sarlóval történik és csak a kalász, ill. a szem NPK tartalma távozik el a területről. A szalmát elégetik és K-tartalma a

táblán marad. Az 1 t szem betakarítása $30 - 10 - 5 = N - P_2O_5 - K_2O$ kg veszteséget jelent.

1.2 táblázat: Négy évi növényi NPK veszteség eltérő gazdálkodási viszonyok között, kg/ha (Kádár 1979)

Gazdálkodás módja	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Összesen
Parlagos gazdálkodás (Saját becslés)	12	4	2	18
Előszállási gazdaság (Cserhádi és Kosutány 1887)	20	8	5	33
Rothamstedi vetésforgó a XIX. században (Cooke 1965)	64	21	7	92
Magyaróvári gazdaság (Cserhádi és Kosutány 1887)	61	24	16	101
Állami Gazdaság 1970-75. években (Saját becslés)	337	108	160	605
Korszerű árutermelő forgó Angliában (Cooke 1965)	438	144	490	1072
Állami Gazdaság 2000 körül (Saját becslés)	674	216	320	1210

Néhány módszertani megjegyzést kell fűzni az 1.2 táblázat adataihoz. A parlagos gazdálkodás során fellépő tápelemveszteségek becslésénél abból indultunk ki, leegyszerűsítve, hogy a művelésbevétele megelőző felégetés után 2 évig 0.5-1.0 t/ha a kalászos gabonák szemtermése, majd 8 éven át a terület parlagon marad. Így egy 10 szakaszos művelés esetén évente és ha-onként 0.1-0.2 t/ha szemtermés hozadékkal számolhatunk. A betakarítás sarlóval történik és csak a kalász, ill. a szem NPK tartalma távozik el a területről. A szalmát elégetik és K-tartalma a táblán marad. Az 1 t szem betakarítása $30 - 10 - 5 = N - P_2O_5 - K_2O$ kg veszteséget jelent.

Cserhádi és Kosutány (1887) szintén leegyszerűsített számításokat végzett, amennyiben a gazdaságon belüli veszteségeket, melyek a N és K esetén a 30-40 %-ot is elérhetik, figyelmen kívül hagyta. Igaz azonban, hogy ebben a modellben kisebb is a szerepük, hiszen a réti szénával a szántókra K feleslegben kerül, a pillangósok pedig a N mérleg hiányát kiegyenlíthetik. Adataik tehát a gazdaság szintjén előálló, az eladott termékekben foglalt tápelemekkel becsült veszteségeket mutatják. Az Előszállási Gazdaság a múlt század végén tipikusnak mondható, kevésbé árutermelő üzemet képvisel, míg a Magyaróvári Gazdaság túlnyomóan árutermelő jellegű.

Az Állami Gazdaság általunk vett modelljében leegyszerűsítve feltettük, hogy csupán búzát, kukoricát és szalastakarmányokat termesztenek. Az üzemből termelő istállótrágyát az állattenyésztő telep körüli földekre szállítják, ahonnan a szalastakarmányokat is kapják. A távolabbi területeket csak műtrágyázásban részesítik és búza-kukorica 2 évenkénti váltással hasznosítják. A kukoricát kom-bájnolják, így csak a szem kerül el a tábláról, míg a szarát alászántják. A búza

kombájnlása után viszont a szalmát is betakarítják. A termésátlagok az 1970-75. években 5 t/ha körüliek voltak és az ezredfordulóra megduplázódhatnak.

A bemutatott számítások szerint az 1970-es években a búzatáblákról 4 év alatt 20 t szem + szalma tápelemei, míg a kukoricaföldekről a 20 t kukorica szem 19 - 6 - 4 N - P₂O₅ - K₂O veszteséget jelent. Ily módon becsülve állott elő a 70-es években összesen 605, míg az ezredfordulóra 1210 kg NPK veszteség. Megjegyzendő, hogy a tápelemveszteség üzemi szinten 1/3-ával csökkent a számítások során, mivel a takarmánytermő területek istállótrágyában fedezték veszteségeiket, tehát az elemforgalom az üzem 1/3-án zárt volt.

Megállapítható, hogy a gazdálkodási rendszerektől és vetésforgóktól való elszakadás lehetőségeit és korlátait a tápanyagpótlás anyagi alapjai behatárolják. Amennyiben elvileg korlátlanul állnak rendelkezésünkre növényi tápanyagok (elsősorban műtrágyák), az üzemek részben felrúghatnak korábban változatlanul tartott rendszereket és szemléleteket. Az elmúlt két évszázad folyamán többé-kevésbé tisztázódtak ismereteink a növényi táplálkozás alapjairól. Az ásványi tápanyagokkal kapcsolatos felismerések lehetővé tették, hogy eljussunk a műtrágyázás gondolatáig. Ez a körülmény Sárkány (1968) szavaival élve azt is jelenti, hogy ipari üzemekben és bányákban szinte korlátlan volumenű termés feltételeit állíthatjuk elő.

A mezőgazdaság élelmiszertermelő kapacitásának egyik fő meghatározója a közelmúlt földművelési rendszereiben a műtrágya lett. A fejlődés elsősorban mennyiségi vonatkozású volt és számos új problémát vetett fel. A műtrágyázás ugrásszerűen megnövelte az élelmiszertermelés energiaigényét és az első olajválság óta nyomasztó tényezővé vált. Előtérbe került a műtrágyák kumulatív jelentkező károsító hatása, mint pl. a talajok és talajvizek nitrátosodása, a nehézfém-akkumuláció stb. A tudományos vizsgálatoknak arra a kérdésre is választ kell adniuk a jövőben, hogy melyek a műtrágyázás határai és a tágabb környezetre gyakorolt hatása.

1.5 Irodalom

- BAUMGARDNER, M.F. 1959: Bodenuntersuchungen in der USA. Die Phosphorsäure. 19:361-374.
- BÉRCZY, GY. 1968:A gazdaságos műtrágyázás feltételei Magyarországon. Kandidátusi disszertáció. MTA TMB. Budapest.
- BÉRCZY, GY. 1972: A mezőgazdaság kemizálásának gazdasági kérdései. Mezőgazd. Kiadó. Budapest.
- BUZÁS, GY. 1987: A trágyázás gazdasági hatékonyságának értékelése. In: Buzás, I. (1987): Bevezetés a gyakorlati agrokémiába. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- COOKE, S.W. 1965: Trágyázás és jövedelmező gazdálkodás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- CSERHÁTI, S - KOSUTÁNY, T. 1887:A trágyázás alapelvei. Országos Gazdasági Egyesület Könyvkiadó. Budapest.
- CSETE, L. - GÖNCZI, I. - KÁDÁR, B. - VADÁSZ, L. 1974: A mezőgazdasági vállalatok gazdaságtana. Közgazd. és Jogi Könyvkiadó. Bpest.
- CSIZMADIA, E. 1973:Bevezetés az élelmiszergazdaságtanba. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- DITZ, H. 1867: Die ungarische Landwirtschaft. Verlag von Otto Wigand. Leipzig.

- DORNER, B. 1925: A kereskedelmi trágyák történelme, gyártása és használata. Athenaeum. Budapest.
- FACT BOOK OF U.S. AGRICULTURE. 1984: USDA Micellaneous Publication. N. 1063. Washington, D.C.
- GYÖRFFY, B. 1965: Talajtermékenység és kemizálás. Tudomány és Mezőgazdaság. 3:11-20.
- KÁDÁR, I. 1978: Összefüggések a talaj termékenysége és tápanyagellátottsága között. Kandidátusi disszertáció. MTA TAKI. Budapest.
- KÁDÁR, I. 1979: Földművelésünk nitrogén, foszfor és kálium mérlege. Agrokémia és Talajtan. 28:527-544.
- KOSZTÜCSEV, P.A. 1881: Ocserki Zalezsnogo sztyepnogo hozjajsztva. (Iz sztyepnoj poloszii voronyezsszkoy i harkovszkoy gubernij.) Izbrannüje Trudü. Izd. Akad. Nauk Sz.Sz.Sz.R. 1951.
- LATKOVICS, GYNÉ 1972: A műtrágyagyártás és felhasználás jelenlegi helyzete és várható irányzatok. Agro-kémia és Talajtan. 21:215-248.
- LÁNG, G. 1960: Istállótrágya gazdálkodás a vetésváltó földművelési rendszerben. Keszthelyi Mezőgazdasági Akadémia Kiadványa. Budapest.
- LIEBIG, J. VON 1840: Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. 9. Auflage. Vieweg und Sohn. Braunschweig. 1876.
- LIEBIG, J. VON 1876: Einleitung. In: Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. 9. Auflage. Vieweg und Sohn. Braunschweig. 1876.
- MARX, K. 1953: A tőkés termelés előtti tulajdonformák. Szikra. Budapest.
- MÉSZÁROS, S. 1972: A műtrágyázás hatékonysága és optimumai. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- PARKER, F.W. 1965: Udobrenie i ekonomiceszkoe razvitye. In: Udobrenija. 19-40. Izd. "Kolosz" Moszkva.
- PECZNIK, J. 1969: A gazdaságos műtrágyázás kérdéseiről. Agrártudományi Közlemények. 28:195-199.
- PETHE, F. 1805: Pallérozott mezei gazdaság. Sopron.
- PRJANISNYIKOV, D.N. 1934: Agrohimiya. (Vvedenie). Szelhozgiz. Moszkva.
- PRJANISNYIKOV, D.N. 1945: Azot v zemledelii Sz.Sz.Sz.R. In: Popularnaja Agrohimiya. Izd. Nauka. Moszkva. 1965.
- SALMON, S.C. - HANSON, A.A. 1970: A mezőgazdasági kutatás elméleti és gyakorlati problémái. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- SARKADI, J. - KÁDÁR, I. 1974: The interaction between phosphorus fertilizer residues and fresh phosphate dressings in a chernozem soil. Agrokémia és Talajtan. 23:93-100. Suppl.
- SARKADI, J. 1975: A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- SÁRKÁNY, P. 1968: A műtrágyázás távlatai. Tudomány és Mezőgazdaság. V. évf. 5.sz. 23-27.
- SZOZINOV, A.A. 1976: Urozsaj is kacsesztvo zerna. Novoe v zsznyi, nauke, technike. Szerk. "Szelszkoe Hozjajsztvo". 4. sz. Izd. "Znanie" Moszkva.
- TISDALE, S.L. - NELSON, W.L. 1966: A talaj termékenysége és a trágyázás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- TRUTNYEV, A.G. 1963: Celinnüie i zalezsnüie zemli szeverozapadnoj zonü, ih oszvoenie i effektivnoszt' udobrenij na nih. Izd. Leningradszkogo Universziteta. Leningrad.
- VILJAMSZ, V.R. 1950: Talajtan. A földművelés alapjai. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- VOROBJEVA, SZ.A. - BUROV, D.I. 1964: Obsee zemlegyelie. Izd. "Kolosz" Moszkva.

2. TALAJTERMÉKENYSÉG MEGŐRZÉSE A HAGYOMÁNYOS GAZDÁLKODÁSI RENDSZEREKBEN

*"Orcád verítékével egyed a te kenyered,
míglen visszatérsz a földbe"*
ÓTESTAMENTUM

2.1 Talajtermékenység fenntartása trágyázás nélkül

Az elmúlt évszázadok, esetleg évezredek gazdálkodási módjait nemcsak időben (múltban), hanem térben (jelenben) is tanulmányozhatjuk. A Föld mezőgazdaságában ugyanis valamennyi eddig létezett gazdálkodási mód ma is fellelhető, mert a világ parasztságának egy része hagyományos, esetenként több ezer éves termelési eljárásokat alkalmaz napjainkig. A hagyományos és a modern mezőgazdaság közötti különbség lényegében a termelés céljában van. Az előbbinek az önellátás, elsősorban a mezőgazdasággal foglalkozók táplálása a célja, míg utóbbinak az árutermelés, a zömmel nem mezőgazdasági népesség ellátása. A hagyományos földművelési rendszereket olyan alapvetőnek számító munkák segítségével tekintheti át az agrokémikus, mint Viljamsz (1950), Láng (1960, 1976), Enyedi (1965), Erdei (1967), Gaál (1978), Lőrincz (1978), Grigg (1980), Gunst és Lökös (1982) stb. írásai.

Az önellátó gazdálkodás sokágú, hisz cserére nem, vagy csak esetenként termel. Így biztosítani kell a termelők - akik egyben fogyasztók is - sokoldalú élelmi-szer szükségletét, valamint nyersanyagokat a ruházkodáshoz és gyakran a hajlék megteremtéséhez. Ennek ellenére a hagyományos gazdálkodási típusokban nagyon ritka a növénytermesztés és az állattenyésztés kombinációja. Általában vagy az egyik, vagy a másik ágazat játszik kizárólagos szerepet.

A 10-15 ezer évvel ezelőtt létrejött mezőgazdasági tevékenység az emberiség legrégebbi termelési tevékenysége. Alapjaiban és kezdetben főként a természet munkáját utánozta. Igyekezett nagyobb és biztonságosabb mennyiségben előállítani azokat a növényi és állati javakat, amelyeket a természettől korábban egyszerűen elvettek. Az emberiség döntő hányada még a közelmúltban is a mezőgazdaságból élt. A népsűrűség részben meghatározza a gazdálkodás típusát is. Alacsony népesség mellett gyakran a szántóföldi művelésre alkalmas területek (szűzföldek) is a legeltető állattenyésztésnek adnak otthont. Ezek a tartalékföldek ma már rohamosan fogynak Földünkön. A túlnépesedés a fejletlen területeken túlhasznosítással jár együtt erdőirtást, eróziót, sivatagosodást stb. okozva.

Amíg az önellátó mezőgazdaság egyszerűbb formája, a kezdetleges őserdei gazdálkodás a dús vegetáció ellenére 1 fő/km² népességet alig tart el, az ugyan-csak önellátó "öntözéses ázsiai termelési mód" több száz fős népsűrűséget produkál. Az önellátás színvonala azonban mindkét esetben csak a létminimumot biztosította.

Az állattenyésztés hagyományos formái általában olyan régiókban terjedtek el, ahol a természeti környezet (extrém szárazság, fagyveszély, terméketlen talajok) a növénytermesztésnek nem kedvezett. Ezek a sivatagok, félsivatagok, száraz

sztyeppék, sarkövi tundra vidéke. A szegényes növényzet növekedése itt lassú, a lelegelt terület csak hosszú idő alatt regenerálódik, ezért a vándorló nomád pásztorkodás jelenti a fő tevékenységet. A sarkövi nomádizmus döntően a rénszarvas-tenyésztésen alapul, míg a száraz övezet nomádjai, mint pl. Észak-Afrika, Mongólia, Belső- és Közép-Ázsia pásztorai többféle állatot tartanak.

A hagyományos állattenyésztés alapvetően nem különbözik a természetes állapottól, a talaj termékenységet nem csökkenti. A tápanyagforgalom gyakorlatilag teljesen zárt. Az állatok által lelegelt növények tápanyagainak zöme az emésztést követően visszakerül a talajba. Az állati termékekben foglalt ásványi elemek nagy része szintén, az emberi ürülékkel. Az állattenyésztő törzsek a száraz övezetben intenzív cserét is folytatnak a letelepült növénytermesztőkkel. Az eladott vagy elcserélt állati termékekben foglalt tápelemek mennyisége részben elhanyagolható, részben a vásárolt termékekkel kiegyenlítődik. A talaj termékenységének fenntartásáról a természet gondoskodik. Vizsgáljuk meg ezek után a hagyományos növénytermesztés típusait egy-egy példa alapján.

A bomló ősközösség állapotában található trópusi őserdő törzsei számára a földművelés előkészítése erdőégetést jelent. Ahogyan Enyedi (1965) megjegyzi, ez a törzs kollektív munkája. A "szántóföld" az elszenesedett fák csonkjaival van tele és a művelés ezek között folyik. Eszköze a szűrőbot, mellyel magágyat készítenek. Egymással elkeveredve ültetik a kukoricát, kölest és más, trópusi gumós növényeket, melyek érési ideje különböző. Növényápolási munkát nem végeznek. A megmaradt természetes növényzettel kevert állományban a betakarítás a gyűjtögetéshez hasonlít. A trágyázás hiánya és az elégtelen talajművelés alacsony hozamokat produkál és a talajt gyorsan kimeríti. A települések gyakran vándorolnak, tevékenységüket gyűjtögetéssel és vadászattal is kiegészítik. Állattenyésztést nem folytatnak (Amazonas medencéje, Kongó medence, Indonézia).

Afrikában a szudáni szavanna övezetben a száraz füvet égetik el. Az ugar és a művelt terület váltogatása gyakoribb, mert a füvek gyorsabban regenerálódnak. A termések alacsonyak, általában 0.5 t/ha alattiak. Trágyázást nem folytatnak, ezért a föld nagy része ugaron pihen. A hagyományos indián közép-amerikai szavanna-gazdálkodásban a földet 10 évből 2 évig művelik. Az ugar 8 évig tart, tehát a mezőgazdaságilag igénybe vett terület 20 %-át hasznosítják. Az igénybe-vétel a bozót, ill. a magas fű elégetésével kezdődik, majd a mayák szűrőbottal egy csomóban kukoricát, babot, tököt vetnek.

A hagyományos észak-afrikai gazdálkodás során a földet faekével szántják, sarlóval aratnak, állatokkal vagy cséphadaróval történik a cséplés. Közel-Keleten is főként gabonatermesztést jelent a gazdálkodás. Az állatokat vonóerőnek tekintik. Nem almoznak, mert a szalma takarmány, a trágya pedig erdő híján fontos tüzelőanyag. A trágyákat az ugar pótolja. Az ugar az igénybe vett terület felét vagy 1/3-át foglalja el a két- vagy háromnyomásos gazdálkodás szabályai szerint. A tulajdonviszonyok is a korai feudális Európára emlékeztettek az olajmezők feltárása előtt.

Az egyiptomi öntözéses gazdálkodás a Nílus áradásán alapult. A víz gravitációs úton jutott el a földekre, ahol mintegy 10 ezer köbméter vizet és 15 tonna iszapot hagyott vissza hektáronként. Ezt a téli földművelés időszaka követte novembertől ápriliséig. A nyári ugar idején régen a föld áprilistól júliusig műve-

letlenül maradt és kiszáradt. Ma már a mesterséges öntözéssel két termést takarítanak be. Ehhez nem elégséges a Nílus iszapja, Egyiptom műtrágya felhasználása jelentőssé vált.

2.2 A talajtermékenység fenntartása és növelése trágyázással

Az eddig tárgyalt nomád állattenyésztési, valamint a hagyományos növénytermesztési módokban a trágyázás mint önálló tevékenység a talajtermékenység megőrzésének eszközeként nem szerepelt. A népesség szaporodása a talaj erősebb igénybeviteléhez vagy a lakosság egy részének elvándorlásához vezet. Végül soron az elvándorlás is azt eredményezi, hogy újabb területeket vonnak művelés alá ha erre mód van, vagy csökken az időszakos ugar, a parlagoltatás ideje. Majd az ugart is művelik (fekete ugar), részben bevetik (zöld ugar), majd az egész területet rendszeresen hasznosítják és trágyázással teszik lehetővé a talaj szakadatlan használatát. Ez a folyamat játszódott le a magyar Alföldön is az elmúlt évszázadokban, valamint Délkelet-Ázsiában néhány ezer évvel korábban.

Kína, Japán, Hátsó-India és részben Indonézia hagyományos földművelésében évezredek óta sok helyütt alapvető volt az öntözéses gazdálkodás. Az ugar ismeretlen, ill. bizonyos területeken évente 2-3 termést takarítanak be. A termések nem magasak, hiszen a hektáronkénti 1 t gabona vagy 2 t hántolatlan rizs meglehetősen gyakori. A korábban taglalt őserdei gazdálkodáshoz, ill. a száraz övezet két- vagy háromnyomásos műveléséhez képest azonban egy nagyságrenddel termelékenyebb egységnyi területre vetítve. Ezenkívül a művelés gyakorlatilag minden hasznosítható talajra kiterjed, a falvakat nem választják el parlagon hagyott területek, így több száz fő/km² népességet is eltarthat.

A takarmánytermesztésnek itt sem jut hely, az állati termékek fogyasztása nem jelentős. Az állatokat főleg munkavégzésre használják. Kivétel a kínai sertés, amely főleg hulladékokat hasznosít. A talajerő fenntartására gondot fordítanak. Felhasználják a fekáliát, trágyáznak apró halakkal, kihalásszák a hínárt a tengerből stb. Kína földművesei kiváló komposztkészítők, melyhez összegyűjtenek minden lehetséges hulladékot, mint növényi hulladékokat, mészkövet, sőt az emberi haját is. Fő trágyájuk azonban a fekália, amelyre kereskedelem épül. Az emberi ürülék fölpogácsázásával számos városi lakos foglalkozott. A falusi kuli terményt hozott a városba és trágyatéglával tért haza, hogy a tápanyagforgalom biztosítva legyen. Dorner (1925) szerint a városokban árnyékszékeket állítottak föl és pénzfizetéssel is csábították az utcai járókelőket a kabin használatára.

A kínai példa mutatja, hogy a tápanyagforgalom maximálisan zárt a hagyományos gazdálkodásban. A növények által felvett tápelemek egy része a melléktermékekben marad és közvetlenül vagy komposzt formájában visszakerül a talajba. A saját fogyasztású termékek ásványi elemei szintén a gazdaságon belül maradtak, a fekália a rendszer teljes mértékben hasznosítja. Az eladott termékekben foglalt elemeket visszavásárolták (trágyapogácsa). Az évezredes használat eredményeképpen a talajok termékenysége nem csökkent, sőt emelkedett. A tápanyagvesztéseket igyekeznek kizárni. A körülárokolt parcellákon az erózió nem jelentkezik.

A hagyományos mezőgazdaság vizsgálata nagyon időszerű mind elméleti, mind gyakorlati szempontból. Különösen fontos lehet számunkra az öntözéses rizstermesztés Kelet-Ázsiában felhalmozott évezredek tapasztalatának megismerése a talajtermékenység fenntartása céljából. Az ún. modern "iparszerű" termelési rendszerek mind az Egyesült Államokban, mind Európában számos negatív jelenséggel párosultak és előtérbe kerültek korlátaik. Ennek egyik kifejezője az ún. biológiai, alternatív, fenntartó (sustainable) stb. jelzőkkel illetett gazdálkodás terjedése.

A mélyebb megértés céljából megkíséreljük részleteiben is bemutatni Észak-Korea gazdálkodását, közelebb hozni az olvasóhoz mindennapjait és összefoglalni a főbb tanulságokat. A gazdálkodás alapvetően itt még ma is a hagyományos módon folyik. A vidék képe nem változott sokat. A parasztság jó része úgy él, mint évszázadokkal ezelőtt. Ugyanolyan eszközöket használ otthon a háztartásban és a szántóföldön egyaránt (Kádár 1987).

2.3 A talajtermékenység fenntartása Észak-Korea földművelésében

A koreai félsziget északi fele a mediterrán öv magasságában fekszik, tehát délebbre, mint hazánk. Természetes vegetációja, gyomflórája azonban a miénkhez hasonló, szemmel láthatóan is ugyanazon gyomok tenyésznek úton útfélen. Éghajlatát meghatározza, hogy az Egyesült Államokhoz hasonlóan É-D irányban nyitott, a hegyek É-D irányban futnak. A tél ezért szibériai, -20, -30 °C január és február hónapokban, jelentős hótakaróval. Ez az oka, miért hiányzik a mediterrán, ill. a délszaki flóra. A tavasz kifejezetten száraz. A nyári monszun idején (június-július-augusztus hónapokban) fullasztó 25-30 °C uralkodik 90 % feletti relatív páratartalommal. Ekkor déli szelek gyakoriak és az évi 900-1300 mm csapadékból 700-900 mm hullik le.

A félsziget nagyobb része mezőgazdasági művelésre és hasznosításra alkalmatlan hegyvidék és hegyi erdő. Észak-Korea 80 %-a nem művelt. A megművelt terület a 2 millió hektárt sem éri el, alig több mint 1/3-a hazánkénak. Ennek a területnek mintegy 20 millió embert kell eltartania. Az öntözött rizstermesztés 700 ezer, a nem öntözött kukorica területe szintén kb. 700 ezer hektár. Ez a két fő növénye. A kukorica általában a magasabban fekvő nem öntözött területeket foglalja el, ahol a kicsi zárt települések és gyümölcsösök is találhatóak. A kukoricát palántázzák, nem vetik. Termesztése hagyományos módon az alábbiak szerint történik.

A gazdagon szerves trágyázott (30-40 t/ha) ágyásokba vetett kukoricát 2-4 leveles korban ültetik ki 70x20 cm kötésben. A növénykéket bizonyos értelemben sakktáblaszerűen helyezik el, a képzeletbeli sor vonalától kb. 10-10 cm-re jobbra és balra váltogatva. Így a palánták fényhasznosítása kedvezőbb, ill. jobban igénybe vehetik általában az életteret. Egy földlabdában egy növény van, a tőszám 70.000 körüli hektáronként. A gondos palántázás célja, hogy a jól táplált és megerősödött növény tápkockával kerüljön a gyomtalan, de tápanyagszegény talajba. A palántázott kukorica képes átvészelni a tavaszi szárazságot és hasznosítani a kézzel kellően művelt talaj nyers, kevésbé felvehető tápanyagait.

Az ültetést követően kb. 4-6 leveles állapotban kapálnak először és (ha van mivel) fejtrágyáznak. A betakarítás kézzel történik a rizsaratás megkezdése előtt augusztus végétől szeptember végéig. A növényt szárástól levágják, kékébe kötik és kupacokban szárítják a száraz őszi IX. és X. hónapokban. A száraz csövet letörik és a ritkán fából, gyakrabban kukoricaszárból és rizskötélből épített kicsi górékban tárolják. A morzsolás után a szemet az utakon, utak szélén kiterítve napközben utószárítják, majd este rizsszalma zsákokba gyűjtik.

A kukorica is alapvetően közvetlen emberi fogyasztásra kerül. A rizs mellé fejadag-kiegészítésként kukoricát osztanak. A jobb helyeken a kukorica termésátlaga a rizs termésével megegyezik és eléri a 6-10 t/ha mennyiséget. Ezeket a magas terméseket öntözés nélkül, tápanyagszegény talajokon érik el a szorgos növényápolás és a palántázás eredményeként. Mindössze mérsékelt "fenntartó" trágyázást folytatnak a palánták kiültetésével (trágyázott földlabda).

A folyóvölgyek termékenyebb síkságai jelentik az igazán intenzív mezőgazdasági művelést. A táblák mérete kicsi, általában 0.1-0.3 t/ha. A rizsföldek a legmélyebb sík területeket foglalják el, kézzel húzott árkokkal körülvéve. A tapasztalatok szerint ezeken a talajokon különösebb trágyázás nélkül is 4 t/ha körüli rizstermések érhetők el. N szolgáltatásukat az öntözővizek N tartalma, valamint az algák N-kötő tevékenysége is segíti. A geokémiai anyagforgalom során állandóan feltöltődnek tápelemekkel a hegyoldalról lezivárgó vizekből, mivel üledékes-akkumulációs zónában vannak. Az eróziótól ugyanakkor mentesek. Helyenként hosszú évszázadok óta természetesen ugyanazon a talajon rizst monokultúrában. A öntözött rizs termésátlagai 6-10 t/ha körüliek, akár 2-3-szorosan is meghaladhatják hazai eredményeinket.

Ugyanebben az övezetben folyik a nagyon belterjes zöldségtermesztés (főként káposztafélék, hagymafélék, burgonya stb.). A földeken szinte állandóan sok ember, főleg nő serénykedik. Kézzel folyik a gyomirtás, 2-3 hetente híg fekáliával vagy karbamiddal fejtrágyáznak és szükség szerint öntöznek permetező öntözéssel. A növényeket szinte egyenként gondozzák és "etetik". Nem a talajt trágyázzák, hanem valóban a növényt.

A mi fogalmaink szerint a talajok felvehető tápelemekben inkább szegények vagy csak mérsékelttel ellátottak. Ezt a koreai talajminták saját laboratóriummunkában, az itthon szokásos módszerekkel elvégzett analízise is alátámasztotta. Nem gyakorolhatják a feltöltő trágyázást. Amennyiben műtrágyáznak, még a kevésbé mozgékony foszfort is megosztva adják a tenyésztés során 2-3 alkalommal. Az öntözött zöldséget nitrogénnel 6-8-szor is "megetetik". Így természetesen elkerülik a tápanyagok kimosódását, lekötődését és a pocsékolást.

A belterjesség elsősorban a rendkívül magas kézi munkaerő felhasználását jelenti, nem pedig a magas fokú gépesítést vagy kemizálást. A munkaerő jó része még ma is a mezőgazdaságban foglalkoztatott. Az állattenyésztés jelentéktelen, hiszen a megtermelt rizs és a kukorica éppen hogy fedezi a fogyasztást. A vegetáriánus életmódnak (rizs, zöldség, alma) történelmi hagyományai is vannak. A főváros és a nagyobb ipari körzetek mentén azonban ma már kisebb sertés és baromfi telepeket is találunk.

Az öntözött monokultúrák rizstermesztés az alábbiak szerint történik hagyományosan. Ősszel, október folyamán a száraz rizstarlót kb. 30 cm mélyen szánt-

ják, hogy a talaj télen levegőzzön, szerkezete javuljon, föllazuljon. A rizstalajok ugyanis eliszapolódnak, kötötté és levegőtlené válnak. Télen a fagyott talajra kihordják a szervesstrágyát, amelyet tavasszal szántás előtt terítenek szét a táblán 10-20 t/ha mennyiségben. A tavaszi szántás kb. 20 cm mélyen történik trágyabuktatással. A rizspalánták kiültetése előtt simítóznak.

A rizst március végén - április elején vetik el a palántanevelő ágyásokba. Ezek a földek 30-40 t/ha erős szervesstrágyázásban, valamint 0.4-1.0 t/ha égetett-mész trágyázásban részesülnek. Nagyüzemekben mindez kiegészülhet műtrágyákkal, elsősorban P és Si trágyákkal. Jól fejlett palántákat nevelnek, melyek mérsékelt öntözéssel átvészelik a tavaszi szárazságot, míg be nem köszönt az esős monszun. A palántázás május elején kezdődik, melyet kb. 20 nap alatt be kell fejezni. Ettől a művelettől függ döntően a termés.

A palántázás ma is a legnagyobb munkacsúcs, melyet csak részben sikerült gépesíteni a kiemelt nagyüzemekben. Ez azt jelenti, hogy traktor vontatta padlón ülve helyezik a földlabdákat a csoroszlyákba. Egy-egy földlabdában 3-5 növényke található. Mintegy 100 palántát helyeznek 3-3.5 m²-enként, tehát 300-400 ezer palántát hektáronként. A tenyészidő során kis adagokkal többször fejtrágyáznak: a kiültetést követően 10-15 nappal, bugahányás előtt és utána. Aratás idején 20-30 termőhajtást is megszámoztunk fészkenként az erőteljes bokrosodás eredményeképpen.

A növényápolás, fejtrágyázás hagyományosan kézzel történik. Az aratás szeptember közepén kezdődik és többlépcsős. A még részben zöldellő föld feletti állományt kézi sarlózással a talaj felett alacsonyan, 5-6 cm magasságban levágják. Ezt követően néhány napig a rizs a földön szárad, majd kévékbe kötik és kazlakba helyezik. A cséplést a cséplőszűrűn végzik, ma már inkább cséplőgéppel.

2.4 A trágyaszerzés kényszere és a művelésbevételek tartamhatásának tanulmányozása Észak-Korea polderein

A talajtermékenység megőrzése és a trágyák biztosítása a mezőgazdasági termelés alapját jelenti. Észak-Korea ugyan ma már saját műtrágyaiparral rendelkezik, de a kínálat megközelítően sem képes fedezni az igényeket. A nyári monszun idején legfőbb tevékenységnek minősül a szervesanyag gyűjtése a mezőgazdaságban. Gyűjtik az avart, fűvet, kisebb bokrokat az erdőben. E célból külön brigádokat alakítanak, melyek ideiglenesen fel is költöznek a hegyekbe. Kaszálják az árokpartokat, kotorják a folyókat stb., hogy elegendő komposztot készíthessenek.

Mivel az állattenyésztés szinte hiányzik, az állati trágyatermelés elenyésző. A szegényes paraszti háztartás egyetlen "fényűzést" enged meg magának. Az illemhelyen kerámiával burkolt kisméretű tartály van elhelyezve, amelyben a fekált és a húgylevet maradéktalanul összegyűjtik. A fekálkomposzt készítése a következőképpen történik. A húgylevet agyagos földdel itatják fel, hozzákeverik a fekált, majd egy réteg növényi anyagot (rizsszalmát, falevelet, fűvet stb.) helyeznek fölé. A rétegek ismétlődnek.

Vidéket járva a gyakorlott szem mindenütt felfedezi a kisméretű trágyaszarvasokat. Nemcsak a mezőgazdaság, hanem az egész társadalom tudja, hogy a trágya mennyiségétől a jövőbeni életben maradása függhet. A trágyaszerzés és komposztkészítés milliók fáradságos munkáját jelenti ma is. Közel 1 millió hektáron, átlagosan 10 t szerves anyagot kell megmozgatni évente 3-5 alkalommal, kézzel. Gigantikus munka ez évente, talán az ókori piramisok építéséhez hasonló. A hatalom elvárását, a trágyázás általános alapelvét maga Kim Ir Szen elnök, a keleti despotizmus megszemélyesítője írta elő. A szentesített ajánlás: 10-20 t/ha szerves trágyát kapjanak a földek hektáronként és évenként.

Az életben maradás kényszerét tükrözi, hogy a temetkezési helyek is hagyományosan az eldugott hegyoldalakban vannak. Művelésre alkalmas síksági területeket nem foglalhatnak el. A félsziget sekély nyugati partvidékén évszázadok óta folyik a termőföldek elhódítása a tengertől. Hollandiához hasonlóan hatalmas gátak épültek a polderek (koreai nevén kanszokti) védelmére. Az eddig elhódított terület meghaladja a 100.000 hektárt. A falusi gyeptégla kunyhók, a rizsszalmával fedett házak tetejére felfut és terem a tők, növelve a ház körüli apró parcellák teljesítményét.

Koreában szerencsésen tanulmányozható a művelésbevétel tartamhatása a talajok átalakulására, termékenységre, mégpedig az említett poldereken. Ezek a tenger melléki sós talajok természetesen nem hasonlíthatók a hazai talajainkhoz. A gyakorta homokos vályog összetételű poldert a tenger hozta létre. Általában világos színű nyers iszapos üledék, mely 0,5-1 % körüli tengeri eredetű szervesanyag-tartalommal rendelkezik. (Kang és Market 1960, 1960a)

Hasonlóan a szárazföldi szűz talajokhoz a művelésbevétel kezdetén termékek lehetnek, hála az induló tápanyagkészletüknek. A polder mechanikai összetétele természetszerűleg meghatározza a szerves anyag és az ásványi tápelem készletet. Előfordul 1 % feletti humusztartalommal rendelkező nehezebb polder is. A több száz éve művelt polderek igazi antropogén hatásra kialakult talajok. Ezeket a mélyen fekvő területeket az öntözéses rizstermesztés hasznosítja. A gazdálkodás hatása jól nyomon követhető a 2.1. és 2.2. táblázatok eredményein.

2.1 táblázat: A művelésbevétel ideje, valamint a homokos vályog talaj felvehető tápelem-tartalmának összefüggése a szántott rétegben (Koreai Talajtani Kutató Intézet adatai, Phenjan 1987)

Rizstermesztés éve ill. polder kora	Humusz %	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	B
		mg/kg talajban				
1- 5	0.5	19	35	64	74	2.2
11-20	0.8	26	31	28	87	1.4
21-25	1.0	33	30	39	63	1.1
50 felett	1.3	39	18	31	70	1.1

Megjegyzés: N (hidrolizálható), P (Kirszanov), K (Pejve), B (forróvizés), Mg ismeretlen módszerrel meghatározva

2.2 táblázat: A művelésbevitel ideje, valamint a talajok szántott rétegének felvehető tápelemtartalma és az 1:5 vizes kivonat elemzésének eredményei
Mintavétel: Kang Sek Hyon, Geográfiai Intézet, Phenjan 1987, Analízis: MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

Rizstermesztés éve ill. a polder kora	Humusz %	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na	Ca	Mg	Cu EDTA
AL-oldatban mg/kg talajra							
Nem művelt	0.53	122	793	3744	860	965	3.2
10 év	0.96	122	365	566	978	1045	5.6
30 év	1.05	72	209	301	1109	978	7.2
100 év	1.05	63	134	147	1370	978	5.0
200 év	1.10	13	139	129	1478	780	9.9

Rizstermesztés éve ill. a polder kora	El.vezetés m S	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
mg e.é/100 g talaj (1:5 vizes kivonat)							
Nem művelt	3.18	0.97	0.72	13.04	0.26	1.72	14.25
10 év	0.35	0.56	0.74	0.78	0.15	1.34	0.65
30 év	0.28	0.51	0.51	0.70	0.20	0.82	0.60
100 év	0.17	0.18	0.26	0.39	0.15	0.22	0.51
200 év	0.14	0.20	0.28	0.12	0.15	0.22	0.45

Bár az eltérő vizsgálati módszer miatt a két táblázat adatai abszolút értelemben nem vethetők össze, de a trendek így is meggyőzőek. A korábban leírt gazdálkodás és az évi 10-20 t/ha szerves trágyázás nyomán sajátos talaj jön létre, hasonlóan az oázis talajokhoz. A művelésbevitellel nőtt a talajok humusztartalma és hidrolizálható N készlete. Az erős kilúgzás-átmosás miatt ugyanakkor csökkent a felvehető K és B koncentráció. Az alkalmazott szerves trágyák azonban P-szegények. A talajok termékenységét ebben a hagyományos rendszerben így idővel a P hiánya limitálja (2.2. táblázat).

A tengervízben sok a K, a fiatal polder K-ban gazdag. Az erősebb kilúgzás nyomán csökken ugyan a szántott réteg K tartalma, de a kalászosok (rizs) közismerten kevésbé K-igényesek. A K-igényes kukoricát pedig a K-ban gazdagabb, magasabban fekvő kötöttebb talajokon termesztik. Ezért a K-műtrágyázás még nem vetődött fel élesen Észak-Koreában. Megemlítjük, hogy a Ca és részben a Mg tartalom megőrizhető a gazdálkodásban, a polder korával a Ca készlet még nőhet is a meszezés és a szerves trágyák nyomán. A talaj szervesanyag-készletének javulását tükrözi az EDTA-oldható (felvehető) Cu tartalom emelkedése is. Mint ismeretes, komplexképzésre való hajlama miatt a réz a kolloidtartalom és a szervesanyag-készlet függvénye.

A friss polder sógazdag eredete miatt magas elektromos vezetőképességet mutat. A sók közül először a mozgékony és a növényre is mérgezőbb NaCl tűnik el. Ezt követi a Mg és a szulfát ionok csökkenése a szántott rétegben. A talajszelvény mélyebb rétegeiben ez a folyamat szintén nyomon követhető, az altalaj sógazdag marad hosszú művelést követően is.

A fiatal polder másik jellemzője a talajtermékenység szemszögéből: szegénysége N-ben. E tekintetben leginkább a kilúgzott szürke északi podzol-talajokhoz hasonlóan viselkedik. A kevés és rossz minőségű szerves anyag nem képes a növények N igényét kielégíteni, termékenységét a N hiánya limitálja. Az eredményes és gyors művelésbevitel előfeltétele napjainkban a megfelelő mennyiségű N műtrágyával érhető el. (2.3. táblázat)

2.3 táblázat: N műtrágyázás hatása a rizs termésére újonnan művelésbe vont polderen (Koreai Talajtani Kutató Intézet adatai, Phenjan 1987)

(NH ₄) ₂ SO ₄ kg/ha	N kg/ha	Szemtermés t/ha	Szemterméstöbblet	
			t/ha	%
-	-	2.4	-	100
300	60	4.6	2.2	192
500	100	5.5	3.1	229
700	140	6.2	3.8	258

Összefoglalva a tanulmányozott gazdálkodási mód főbb jellegzetességeit, az alábbiakat emelhetjük ki:

- A magas népsűrűség kikényszeríti a hasznosítható területek legteljesebb igénybevitelét. (Erőfeszítések a polderek elhódítására, temetkezési helyek megválasztása stb.)
- A növénytermesztés közvetlen emberi fogyasztást szolgál, nincs hely a takarmányok termesztésére, ill. az érdemi állattenyésztésre. Az élelmiszereket még így is adagolják, a központi hatalom csak a fizikai létminimumot tudja garantálni.
- A tápanyagforgalom teljesen zárt, a veszteségeket és a pocsékolást elkerülik. A tápanyagok mennyiségét külső forrásból is növelik (erdők, folyók, tenger szerves anyagai).
- A trágyázás tudatosult és önállósult tevékenység, mely szinte az egész társadalom összefogását és figyelmét kiérdemli.
- A gazdálkodás belterjes, a táblák tiszták és a termések magasak. A belterjesség a szinte korlátlan kézi munkaerő felhasználásán alapszik. Ez teszi a mezőgazdaságot rendkívül termékennyé, magas kultúrájú növényápolással és talajműveléssel párosulva.

A talaj termékenysége tehát műtrágyák nélkül is megőrizhető vagy növelhető, amennyiben a tápelemforgalom zárt, ill. a szerves hulladékok összegyűjtésére és a talajvédelemre gondot fordítanak. A korlátlan emberi munkaerőre alapozott belterjes gazdálkodás azonban európai viszonyaink között megvalósíthatatlan. Más részről az élőmunka nagyvonalú helyettesítése túlgépesítéssel, műtrágyázással, túlvédekezéssel, talajpusztulással jár. Következményei szintén száku-
utcat jelentenek számunkra, mert nem garantálják a talajtermékenység tartós megőrzését.

2.5 Irodalom

- DORNER, B. 1925: A kereskedelmi trágák történelme, gyártása és használata. Athenaeum. Budapest.
- ENYEDI, Gy. 1965: A Föld mezőgazdasága. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- ERDEI, F. 1967: A mezőgazdaság helye a nap alatt. Korunk tudománya. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- GAÁL, L. 1978: A magyar növénytermesztés múltja. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- GRIGG, D.B. 1980: A világ mezőgazdasági rendszerei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- GUNST, P. - LÖKÖS, L. 1982: A mezőgazdaság története. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- KANG, SEK HJON, - MARKET, S. 1960: Ein Beitrag zur Kenntnis nordost-koreanischer Reisböden. I. Durch Reiskultivierung verursachte Veränderungen der Bodeneigenschaften im Vergleich zu Ackerböden. Albrecht - Th. Arch. 4. Heft 4:268-292.
- KANG, SEK HJON, - MARKET, S. 1960a: Ein Beitrag zur Kenntnis nordost-koreanischer Reisböden. II. Vergleichende agrochemische Untersuchungen von Reis- und Ackerböden. Albrecht Th. Arch. 4. Heft 6:405-435.
- KÁDÁR, I. - GÁL, E. 1987: Jelentés az Észak-Koreában tett tanulmányútról. Kézirat. MTA TAKI. Budapest.
- LÁNG, G. 1960: Istállótrágya gazdálkodás a vetésváltó földművelési rendszerben. Keszthelyi Mezőgazdasági Akadémia kiadványa. Budapest.
- LÁNG, G. 1976: Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- LŐRINCZ, J. (Szerk. 1978): Földműveléstan. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- VILJAMSZ, V.R. 1950: Talajtan. A földművelés alapjai. Akadémiai Kiadó. Budapest.

3. A TÁPELEMMÉRLEG ALAPELVEI ÉS MÓDSZERE

*"A földművelés művészetének lényege
a növénytáplálás előmozdítása"*
JUSTUS von LIEBIG

3.1 Az országos tápelemmérlegek előzményei és módszere

Az elemmérlegek segítségével tájékozódhatunk egy ország földművelésének állapotáról, melynek nemzetgazdasági kihatásai is vannak, ezért ismerete és alakítása a céltudatos agrárpolitika fontos része. Többen említik, például Bocz 1962, Györffy 1965, Sarkadi 1975, Kádár 1979, hogy a századfordulótól az 1950-es évek derekáig a termésátlagok nem emelkedtek Magyarországon, melynek egyik alapvető oka az erősen mérleghiányos tápanyaggazdálkodás volt.

Az elmúlt évszázad folyamán országos szintű tápanyag ill. talajerő mérlegek már több-kevesebb rendszerességgel készültek és ma már jelentős hazai irodalommal rendelkeznek: Zukker (1938), Farkas (1942), Tóth és Kuzmiák (1949), Láng (1960), Györffy (1965), Kádár (1977a, 1979, 1982, 1987a), Debreczeni (1978, 1987), Sarkadi (1979). Példaképpen néhány ismertebb név a tápelemmérlegekkel foglalkozó külföldi irodalomból: Cooke (1958) Anglia, Szokolov (1963) és Peterburgszkij (1968) Szovjetunió, Gisiger (1964) Svájc, Gericke (1967) Németország, Icsinhorloo és Csultemszuren (1974) Mongólia, Welch (1972) USA, Yatazawa (1978) Japán, Jacquard (1978) Franciaország stb.

Ezek a felmérések ugyanakkor minden további nélkül nem vethetők össze, hiszen az agrokémiai ismeretek mindenkori szintjét és ezzel együtt egy meghatározott szemléletet is tükröznek. Más oldalról az is igaz, hogy a tápelemmérlegeket csak a gazdálkodási viszonyok ismeretében lehet értelmezni és felállítani. Erre utaltam az eltérő gazdálkodási rendszerek tápelemforgalmának vizsgálatánál (lásd 1.2 táblázathoz fűzött módszertani megjegyzéseket). Ebből adódik, hogy ha földművelésünk tápanyagforgalmát vizsgáljuk pl. a századelőtől napjainkig, azaz a századvégig, a mérleg tételeinek becslési módja eltérő lesz. Hiszen ebben az évszázadban, pontosabban a századunk II. felében gyökeres változások történtek földművelésünkben.

A szárat vagy a szalmát pl. ritkán tüzelik el a háztartások, nem úgy mint a századelőn. A melléktermékek zöme (kukorica és a napraforgó szára, szalma stb.) a táblán marad és leszántják. Csökkent a növények fajlagos, azaz az 1 t főtermés előállításához szükséges biológiai tápelemigénye, hála a genetikai haladásnak, a növekvő termésszinteknek. A szem:szár, ill. szem:szalma aránya 1: 1-1.5 körülre szűkült a korábbi 1: 2-2.5 körüli értékről, így főként a fajlagos K igény mérseklődött.

A hüvelyesek és pillangósok mint N források szerepe jelentős lehet a N mérlegben, mint már erre utaltunk. A vetésforgóra való áttéréssel döntően az általuk biztosított N bőség járult hozzá a termések megduplázásához Nyugat-Európában

az 1700-as évek végén, ill. a múlt század fordulóján. Vetésterületük alapján azonban nálunk a pillangósok szerepe mérsékeltebb. Az országos tápelemforgalomban a pillangósok N forgalma 5 % körüli. Így van ez az olyan vidékeken, ahol a kilúgzás mérsékeltebb és humuszosabb minőségű talajok vannak túlsúlyban, tehát a kontinentálisabb Délkelet-Európában. Mint Prjanisnyikov (1945) megjegyezte: "az orosz csernozjom talaja pótolta azt a nitrogént, amit Nyugat-Európában a pillangósok szolgáltatnak." Hasonló volt a helyzet hazánkban is. A közelmúltban ehhez járult még, hogy a műtrágyák által létrehozott N-bőség a pillangósokat egyre inkább N fogyasztókká tette.

Az Egyesült Államok közép-nyugaton fekvő kukorica övezetében pl. gyakori a kukorica-szója váltás. A kukoricát biztonsági okból enyhén túltrágyázzák, míg a szója nem részesül gyakorlatilag N trágyázásban. A szója hasznosítja a talaj ásványi N készletét és ezzel megakadályozhatja a N kilúgzását, ezért egészségügyi növénynek is nevezik. A N hiánya esetén a szója növeli a levegőből történő kötést (Johnson et al. 1975.)

Mezőföldi meszes csernozjomon beállított tartamkísérletünkben az MTA TAKI Nagyhorcsói Kísérleti Telepén szintén azt tapasztaltuk, hogy az oltott szója gyökerein képződött gümők száma meredeken csökkent a talaj N trágyázásával. A foszforellátás javítása sem növelte a N-kötés intenzitását, ill. a szójagümők számát ezen a foszforral eredetileg gyengén ellátott talajon. (3.1. táblázat.)

3.1 táblázat: Az NxP trágyázás hatása a szójagümők kialakulására (Meszes csernozjom, Nagyhorcsók, 1988. VI. 27. (db/20 növény)

	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	SzD _{5%}	Átlag
N ₀	76	53	76	64	23	67
N ₁	48	54	44	46		48
N ₂	41	44	40	46		43
N ₃	50	40	29	39		40
SzD _{5%}		23				12
Átlag	54	48	47	49	12	50

0 = gyenge ellátottság, 1 = közepes ellátottság, 2 = kielégítő ellátottság

3 = túlzott vagy káros ellátottság

A termésekkel felvett tápanyagok megítélése során igyekeztünk minden fontosabb növényfajt külön-külön számba venni. Bár az átlagos NPK tartalom eltérhet a ténylegestől, nagyobb vagy kisebb lehet egy-egy növényfaj esetében, azonban országosan és nagyobb számú kultúra mellett ezek a különbségek bizonyos fokig kiegyenlítődnek. Tekintve, hogy számos növényre igen kevés hazai adatot találtunk, ezért a külföldi irodalmi forrásokat is felhasználtuk a fajlagos NPK tartalom átlagértékeinek becsléséhez.

Ismert biokémiai törvényszerűség, hogy a növények tápelemkoncentrációi északnyugatról délkelet felé haladva nőnek, míg a termések általában csökkennek. Magyarország e téren az átmenetet képviselheti Európában. A leginkább hozzáférhető és leggazdagabb irodalmi forrásokat ugyanakkor éppen a tőlünk

É-Ny irányban fekvő hűvösebb és csapadékosabb éghajlattal rendelkező országok, valamint a tőlünk keletre fekvő kontinentálisabb jellegű volt Szovjetunió területe nyújtotta. E megfontolások alapján elsősorban a német, orosz és magyar nyelven megjelent irodalmi forrásokat átlagoltam a főbb növények fajlagos NPK tartalmának megítélése céljából.

3.2 táblázat: Az őszi búza fajlagos NPK-tartalma különböző irodalmi források alapján, a N-tartalom szerint rendezve (1 t szem és a hozzá tartozó szalma, pelyva melléktermékek)*

Sor-szám	Melléktermék/ N főtermék	P ₂ O ₅	K ₂ O kg-ban	Forrás
1.	-	21	10	14 Ballenegger (1936)
2.	1.5	22	12	19 Farkas (1942)
3.	1.4	23	13	19 Richtzahlen (1956)
4.	1.5	24	11	15 Di Gléria (1954)
5.	1.9	24	11	22 Nostiz (in: Selke 1965)
6.	1.8	25	13	22 Handbuch (1965)
7.	1.7	25	9	18 Sarkadi (1969)
8.	1.5	26	12	18 Di Gléria (1964)
9.	1.5	27	11	18 Hajas-Rázsó (1962)
10.	2.0	27	10	20 Sarkadi (1975)
11.	1.5	27	11	18 Dworák (1943)
12.	1.5	27	11	18 Láng (1960)
13.	1.4	27	13	18 ÁG. útmutató (1964)
14.	-	28	10	17 Selke (1965)
15.	-	28	13	22 Jakob (1949)
16.	1.6	28	12	20 Bergmann (1965)
17.	1.8	28	14	22 Davidescu (1959)
18.	1.5	28	11	15 Cserháti-Kosután (1887)
19.	1.5	28	14	20 Kiss (1967)
20.	1.5	29	11	18 Kalender (1914)
21.	1.7	29	12	25 Richtzahlen (1957)
22.	-	30 - 50	10 - 13	20 - 30 Szpravocsnik (1964)
23.	-	30 - 34	12	24 - 25 Zsezel-Panteleeva(1966)
24.	1.4	30	11	16 Kádár et al. (1976)
25.	-	30	12	22 Di Gléria (1964)
26.	-	30	10	20 Szpravocsnik (1960)
27.	-	31 - 42	10 - 17	15 - 35 Szpravocsnik (1964)
28.	2.1	31	12	24 Müller (1926)
29.	-	32	13	21 Fekete (1952)
30.	-	35	10 - 14	24 - 33 Peterburgszkij (1967)
31.	1.5	35	14	31 Tisdale-Nelson (1966)
32.	2.0	37	13	23 Szpravocsnik (1960)
33.	1.0	37	13	23 Artjusin (1967)
34.	-	37	13	23 Almássy et al. (1968)
35.	-	42	17	34 Szpravocsnik (1960)
36.	2.4	42	14	28 Sestakov (1954)

* Ahol külön a szem és külön a szalma NPK tartalma van megadva, ott 1.5 melléktermék/főtermék aránnyal számoltunk.

Példaképpen bemutatom az őszi búza (3.2 táblázat) és a kukorica (3.3 táblázat) fajlagos NPK tartalmát különböző irodalmi források alapján és a N tartalom szerint rangsorolva. Csak a kézikönyv jellegű, alapvetőnek számító stabilabb forrásokat dolgoztam fel. Mint a táblázatokból kitűnik, az adatok szórása igen jelentős, többszörös különbségek is előfordulhatnak az alapvető irodalomban. Hasonló a helyzet a többi növénynél is.

3.3 táblázat: A kukorica fajlagos NPK tartalma különböző irodalmi források alapján, a N-tartalom szerint rendezve (1 t szem és a hozzá tartozó szár mellékterméssel)*

Sor-szám	Melléktermék/ N főtermék	P ₂ O ₅	K ₂ O kg-ban	Forrás
1.	1.4	21	8	21 Tisdale-Nelson (1966)
2.	-	20 - 22	8 - 9	15 - 18 Krámer et al. (1977)
3.	-	20 - 25	8 - 10	16 - 20 Sarkadi (1979)
4.	-	22	8 - 9	22 Szpravocsnik (1960)
5.	-	23	11	39 Ballenegger (1936)
6.	1.5	23	11	28 Cserhádi-Kosutány(1887)
7.	-	24	11	40 Selke (1965)
8.	-	24	11	30 Jacob (1949)
9.	-	24	7	33 Peterburgszkij (1967)
10.	1.5	24	13	23 Farkas (1942)
11.	1.7	25	11	27 Richtzahlen (1957)
12.	1.6	25	11	28 Ricztzahlen (1956)
13.	1.8	25	12	28 Bergmann (1965)
14.	1.8	26	10	26 Selke (1965)
15.	-	26 - 30	9 - 10	29 - 30 Klecskovszkij-Peterburgszkij (1964)
16.	-	26	10	27 Di Gléria (1964)
17.	1.5	27	10	28 Kalender (1914)
18.	1.5	27	10	28 Handbuch (1965)
19.	-	27	11	25 Selke (1965)
20.	1.5	28	9	11 Láng (1960)
21.	1.5	28	12	29 Di Gléria (1954)
22.	1.5	29	18	28 ÁG. útmutató (1964)
23.	1.5	29	10	29 Kiss (1967)
24.	1.7	29	11	32 Handbuch (1965)
25.	-	30	8	23 Szpravocsnik (1961)
26.	-	30	10 - 12	25 - 30 Szpravocsnik (1964)
27.	1.5	30	18	28 Dworak (1943)
28.	1.5	31	10	28 Di Gléria (1964)
29.	2.0	31	12	36 Handbuch (1965)
30.	2.0	34	12	37 Szpravocsnik (1960)
31.	2.0	34	12	37 Artjusin (1967)
32.	-	34	12	37 Almásy et al. (1968)
33.	2.5	43	16	50 Davidescu (1959)

* Ahol a szem és a szár NPK tartalma külön van megadva, ott 1.5 melléktermék/főtermék aránnyal számoltunk.

A 3.4 táblázatban áttekintő jelleggel feltüntettem az egyes növényfajokra ilyen módon közölt minimális és maximális fajlagos értékeket, valamint az általunk becsült értékeket.

3.4 táblázat: A terméssel kivont fajlagos NPK tartalom alakulása különböző kultúráknál (1 t fő- és a hozzá tartozó melléktermékkel, kg-ban)

Kultúra	Forrás db	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		min-max	becsült	min-max	becsült	min-max	becsült
Búza	36	21-42	30	5-17	12	14-35	21
Rozs	30	18-44	27	6-22	13	16-47	26
Rizs	14	17-37	23	6-22	12	12-37	18
Árpa	26	18-34	26	4-11	11	12-31	23
Zab	32	19-34	28	4-17	12	6-45	27
Kukorica	33	20-43	27	5-18	11	11-50	29
Hüvelyesek*	29	47-88	60	7-22	16	16-52	31
Cukorrépa	35	25-65	43	6-21	15	38-107	56
Rostkender és len	14	5-30	12	2-20	5	3-60	10
Dohány	9	34-84	59	9-25	20	39-127	89
Olajosnövények**	24	38-63	50	6-41	24	23-278	72
Burgonya	31	40-89	52	8-48	20	49-164	90
Zöldségfélék***	44	24-123	35	4-50	16	9-134	53
Silókuk.-csalamádé	23	12-62	27	4-30	12	16-60	35
Takarmányrépa	16	20-100	34	3-35	11	29-145	56
Egynyári szénák	12	8-42	24	3-12	6	13-71	17
Évelő szénák	39	20-34	26	2-11	7	12-55	20
Réti széna	23	7-26	16	2-10	6	3-39	18
Legelő széna	15	6-40	22	1-10	6	3-42	22
Szőlő	8	11-160	56	14-56	26	42-195	83
Gyümölcs	3	50-100	73	20-60	39	50-150	96

*Borsó, bab; **Napraforgó, repce, olajlen, mák; *** Káposzta, hagyma, borsó, paradicsom, paprika.

Megjegyzés: A lédús kultúráknál 10 t fő + melléktermékre megadva. (8, 12, 13, 14, 15, 20, 21. sorok)

Nem fogadható el az a nézet, miszerint a terméssel felvett elemek megítélésében a pontosságra való törekvés veszített jelentőségéből, mert egyre több tápanyaggal rendelkezünk. Nő ugyanis a termékek szintje és ezzel együtt a becsléssel elkövetett hiba nagysága is. Hazai viszonyaink között az őszi búzát és a kukoricát kiemelt pontossággal kell becsülnünk, hiszen mind a művelt terület, mind pedig az összterméssel országosan felvett NPK tartalomnak több mint felét is kiteheti.

3.2 Tápanyaggazdálkodásunk 1932-1975 között

A különféle növényekkel felvett NPK alakulását hasznosított területre vetítve 1971. és 1975. években a 3.5 táblázat mutatja. Számításaink szerint 1971-ben mintegy 441 ezer t N, 165 ezer t P_2O_5 és 420 ezer t K_2O növényi felvétellel számolhattunk, míg 1975-re ez a mennyiség 20-25 %-kal tovább emelkedett. A búza + kukorica együtt az összes felvétel több mint 55 %-át tette ki mindkét évben.

Az istállótrágya átlagos NPK tartalmát $0.5 - 0.25 - 0.6 = N - P_2O_5 - K_2O$ %-os értékkel vettük figyelembe. Tekintve, hogy számos külföldi szerző, valamint a hazai szabadföldi kísérletek (Balláné 1958, 1967; Sarkadi és Bánó 1967; Krámer 1967; Sarkadi 1975 stb.) tanúsága szerint is az istállótrágya N tartalma csak mintegy 50 %-ban műtrágya egyenértékű, ezért a mérlegben 0.25 % aktív N tartalommal számoltam.

A 70-es évek állattartásában a gazdaságok szalmaszükséglete a minimumra csökkent, a kukorica szára mint takarmány pedig az állattartásban egyre kisebb szerepet játszott. A kombájn betakarítást követően részben a szalma, de különösen a kukoricaszár a táblán maradt és leszántották. E megfontolások alapján a kukoricaszárat mint tápanyagforrást vettem figyelembe. Mivel a kukorica $27-10-28 = N - P_2O_5 - K_2O$ kg/t fajlagos tápelemtartalmából mintegy $19 - 6 - 4$ a szemre, valamint $8 - 4 - 24$ a hozzá tartozó melléktermékre esik, így ez utóbbi mennyiséget a "visszapótlás kukoricaszárral" rovatban tüntettem fel. A leszántott szár tápanyagai 1975. évben már az istállótrágya tápanyagaival azonosak (3.6 táblázat.).

A 70-es évek tápelemgazdálkodása már országosan pozitív. A többlet hektáronként a foszfor és kálium esetében 20-25 kg, a N 7 kg körüli 1971-ben, majd 1975-re ezek a többletek közel megduplázódnak. A változás igen gyorsan következett be. Lássuk ehhez Györffy (1965) 1960-64. évekre felállított mérlegét, melynek eredményeit a 3.7 táblázatban foglaltam össze. Ebben a mérlegben a kukoricaszár még nem szerepelt tápanyagforrásként, azonban az akkori viszonyokat figyelembe véve ez nem is látszott indokoltnak.

A 3.7 táblázat adatai arra utalnak, hogy bár a termések ill. a termésekkel felvett NPK mennyiségei mintegy 25-30 %-kal alacsonyabbak a 3.6 táblázatban bemutatott 1971. évinél, a mérleg mégis jelentős hiánnyal zárul a N és K esetében, a P mérleg épphogy egyensúlyban van. Az istállótrágyával bevitt tápelemek mennyisége alig változott ezen idő alatt. Műtrágyákkal azonban több mint 3-szor annyi nitrogént és foszfort, valamint 6-szor annyi káliumot juttattunk a talajba az 1960-64. évek átlagához viszonyítva.

Az 1930-as évekre Zucker (1938) és Farkas (1942) állított fel országos mérlegeket. Mivel ezek a mérlegek más elvekre és irányszámokra épültek mint az eddig taglaltak, így az 1932-36. évekre is saját becslésemet közlöm a 3.7 táblázatban. Míg 1971-ben és 1975-ben egy-egy év mérlegét mutattam be, addig az 1930-as években 4 év átlagával dolgoztam. Célunk ugyanis az volt, hogy a 30-as évekre stabilabb átlagokat nyerjünk, míg a 70-es években a tápanyagforgalom minőségi változásait érzékeltessük és a többi év átlaga helyett az 1971. és 1975. éveket szembeállítsuk.

3.5 táblázat: A különféle növényekkel felvett tápanyagmennyiségek alakulása 1971. és 1975. Években (Mezőgazdaságilag hasznosított terület)

Kultúra	Főtermés 1000 t-ban		N P ₂ O ₅ K ₂ O fajlagos kg/t-ban			N P ₂ O ₅ K ₂ O felvett 1000 t-ban 1971-ben			N P ₂ O ₅ K ₂ O felvett 1000 t-ban 1975-ben		
	1971	1975									
Búza	3922	4007	30	12	21	117.7	47.1	82.4	120.2	48.1	84.2
Rozs	182	147	27	13	26	4.9	2.4	4.7	4.0	1.9	3.8
Rizs	67	69	23	12	18	1.5	0.8	1.2	1.6	0.8	1.2
Árpa	785	701	26	11	23	20.4	8.6	18.1	18.2	7.7	16.1
Zab	91	92	28	12	27	2.5	1.1	2.5	2.6	1.1	2.5
Kukorica	4732	7172	27	10	28	127.8	47.3	132.5	193.6	71.7	200.8
Hüvelyesek	121	131	60	16	31	7.3	1.9	3.8	7.9	2.1	4.1
Cukorrépa	2023	4089	4.3	1.5	5.6	8.7	3.3	11.3	17.6	6.1	22.9
Rostkender és len	131	79	12	5	10	1.6	0.7	1.3	0.9	0.4	0.8
Dohány	16	17	59	20	89	0.9	0.3	1.4	1.0	0.3	1.5
Olajos növények	263	244	50	24	72	13.2	6.3	18.9	12.2	5.9	17.6
Burgonya	1797	1630	5.2	2.0	9.0	9.3	3.6	16.2	8.5	3.3	14.7
Zöldségfélék	1682	1632	3.5	1.6	5.3	5.9	2.7	8.9	5.7	2.6	8.6
Silókuk.-csalamádé	4246	5503	2.7	1.2	3.5	11.5	5.1	14.9	14.9	6.6	19.3
Takarmányrépa	1116	842	3.4	1.1	5.6	3.8	1.2	6.2	2.9	0.9	4.7
Egynyári szénák	261	230	24	6	17	6.3	1.6	4.4	5.5	1.4	3.9
Évelő szénák	2085	2898	26	7	20	54.2	14.6	41.7	75.3	20.3	58.0
Réti széna	562	546	16	6	18	9.0	3.4	10.1	8.7	3.3	9.8
Legelő széna	981	1076	22	6	22	21.6	5.9	21.6	23.7	6.5	23.7
Szőlő	745	813	5.6	2.6	8.3	4.2	1.9	6.2	4.6	2.1	6.7
Gyümölcs	1231	1355	7.3	3.9	9.6	9.0	4.8	11.8	9.9	5.3	13.0
Összesen	-	-	-	-	-	441.3	164.6	420.1	539.5	198.4	517.9

A 3.7 táblázat eredményeiből kitűnik, hogy a II. világháború előtti évtizedekben tápanyaggazdálkodásunk valóban jelentős hiánnyal zárult mind a három tápanyagban. A 30-as évekre kapott becslés eredményei lényegében az azt megelőző évtizedekre is iránymutatónak szolgálhatnak, tágabban a századfordulótól az 1950-es évek elejéig. Hiszen századunk első felében sem termésátlagaink, sem az istállótrágya termelés ill. a műtrágyafelhasználás érdemben nem változott.

A foszfornak és káliumnak mintegy felét, míg a nitrogénnek több min 80 %-át nem pótoltuk vissza évente trágyákkal. Ha a pillangósokat N forrásként vesszük is figyelembe és feltesszük, hogy évenként és hektáronként mintegy 50 kg nitrogént hagynak maguk után a talajban, akkor megközelítően azonos mérvű bevételi forrásról beszélhetünk, mint az istállótrágya N tartalma. A N visszajuttatása tehát így is csak 30 % körüli.

3.6 táblázat: Magyarország tápanyagmérlege az 1971. és 1975. években. Mezőgazdaságilag hasznosított terület

Mérleg tégei	1971-ben				1975-ben			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Össz.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Össz.
1000 tonnában								
Terméssel felvett	441.3	164.6	420.1	1026.0	539.5	198.4	517.9	1255.8
<i>Visszapótlás:</i>								
Istállótrágyával	58.3	58.3	139.9	256.5	58.3	58.3	139.9	256.5
Kukoricaszárral	37.9	18.9	113.6	170.4	57.4	28.7	172.1	258.2
Műtrágyákkal	393.5	250.9	309.2	953.6	535.8	429.3	553.1	1518.3
Összesen	489.7	328.1	562.7	1380.5	651.5	516.3	865.1	2033.0
Egyenleg	48.4	163.5	142.6	354.5	112.0	317.9	347.2	777.2
kg/hektárban								
Terméssel felvett	64.4	24.0	61.3	149.7	79.7	29.3	76.5	185.5
<i>Visszapótlás:</i>								
Istállótrágyával	8.5	8.5	20.4	37.4	8.6	8.6	20.7	37.9
Kukoricaszárral	5.5	2.8	16.6	24.9	8.5	4.2	25.4	38.1
Műtrágyákkal	57.4	36.6	45.1	139.1	79.1	63.4	81.7	224.2
Összesen	71.4	47.9	82.1	201.4	96.2	76.2	127.8	300.2
Egyenleg	7.0	23.9	20.8	51.7	16.5	46.9	51.3	114.4
Visszapótlás in- tenzitása %	111	200	134	134	121	260	167	162
*Egyenleg	1.5	21.1	4.2	26.8	8.0	42.7	25.9	76.6
*Visszapótlás intenzitása %	102	188	107	118	110	246	134	141

* Kukoricaszár nélkül

3.7 táblázat: Magyarország tápelemmérlege az 1932-36. valamint 1960-64. években (Mezőgazdaságilag hasznosított terület)

Mérleg tételei	1932-36				1960-64			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Össz.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Össz.
1000 tonnában								
Terméssel kivont	299.3	111.4	286.1	696.8	330.1	128.7	334.3	793.1
<i>Visszapótlás:</i>								
Istállótrágyával	50.0	50.0	120.0	220.0	51.2	51.2	122.9	225.3
Műtrágyával	1.0	5.8	0.3	7.1	109.8	82.0	47.7	239.5
Összesen	51.0	55.8	120.3	127.1	161.0	133.2	170.6	464.8
Egyenleg	-248.3	-55.6	-165.8	-469.7	-169.1	4.5	-163.7	-328.3
kg/hektárban								
Terméssel kivont	39.6	14.7	37.8	92.1	46.9	18.3	47.5	112.7
<i>Visszapótlás:</i>								
Istállótrágyával	6.6	6.6	15.9	29.1	7.3	7.3	17.5	32.0
Műtrágyával	0.1	0.8	0.0	0.9	15.6	11.6	6.8	34.0
Összesen	6.7	7.4	15.9	30.0	22.9	18.9	24.3	66.0
Egyenleg	-32.8	-7.3	-21.9	-62.1	-24.0	0.6	-23.2	-46.7
Visszapótlás in- tenzitása %	16.9	50.3	42.1	32.6	48.8	103.3	51.2	58.6

3.3 Tápelemmérlegünk egyenlege 1984-ben, ill. a századforduló óta

Földművelésünk NPK mérlegét 1984. évre is felállítottuk (Kádár 1987a). A fajlagos NPK értékeket a MÉM NAK Műtrágyázási irányelvei (1979), valamint újabb saját vizsgálataink eredményei alapján pontosítottuk a jelenlegi termesztési feltételekhez közelítve. A tápanyagforrások becslésénél az alábbiak szerint jártunk el:

- A műtrágyafelhasználás adatait az 1985. évi Mezőgazdasági Statisztikai Zsebkönyvből vettük.
- Feltettük, hogy a kukorica és a napraforgó szárát, valamint a búzaszalma 1/3-át leszántják
- Feltettük továbbá, hogy a lucerna és a herefélék szénájának N-je 50 %-ban a levegőből származott.
- Megkíséreltük a szerves trágya mennyiségét az állatlétszám alapján becsülni megbízható statisztikai adatok híján. Feltettük, hogy számosállatonként és éven-

ként 10 t trágya termelődik. Mivel az így képződött trágya egy része elvész és nem kerül a talajba, e mennyiség felével is számoltunk a mérlegben.

Az 1984. évi termésekkel hasznosított területen felvett NPK mennyiségeit a 3.8 táblázatban tüntettük fel. Látható, hogy az összes felvétel 62 %-át a gabonafélék adták. Azon belül 55 %-ot meghaladóan két növény, a búza és kukorica. Az ipari növények szintén belterjesek, a vetésterületüket meghaladó mértékben részesednek a felvételtől. Fordított a helyzet a rétek, legelők, valamint a szőlő termesztése esetén. A rét-legelő gypszéna termése mindmáig alacsony, mert trágyázásban és öntözésben alig részesülnek. A szőlőnek csak a leszüretelt bogyótermése került el évente a tábláról, míg az ásványi elemek nagyobb része a lehulló levelekkel és részben a visszamaradó nyesedékekkel a talajba juthat.

A mérleg egyenlege szerint 1984-ben 1.4 millió tonna $N + P_2O_5 + K_2O$ épült be a növényeink föld feletti termésébe. Egyedül a műtrágyákkal pótolhattuk a felvett N mennyiségét, a P több mint 1.5-szeresét és a felvett K 85 %-át. A melléktermékek közül elsősorban a kukoricaszár jelentős K forrás. Összességében elmondható, hogy a visszapótlás 70 %-át a műtrágya, 10-18 %-át az istállótrágya és 10-15 %-át a melléktermékek tették ki. Az összes szerves eredetű trágyaszer NPK hozama a források mintegy 30 %-át jelenthette. (3.9 táblázat)

Az egyenleg 27 kg N, 46 kg P_2O_5 és 41 kg K_2O többletet jelzett hektáronként. Ilyen mérvű lehetett talajaink gazdagodása tápelemekben a 80-as években. E becslések szerint nem valószínű tehát, hogy országos méretű rablógazdálkodás folyt volna, esetleg talajaink felvehető tápelemtartalma csökkent volna az elmúlt évtizedben. Ellenkezőleg, nőtt a már nemkívánatosan feltöltött talajok aránya és a nitrátszennyeződés. (Kádár 1987a, 1989)

A 3.10 táblázatban áttekinthetjük földművelésünk tápelemforgalmát a 30-as évektől a 90-es évekig. A főbb megállapításokat a következőkben lehetne összefoglalni:

1. A termések ill. a termésekkel felvett NPK mennyisége folyamatosan nőtt a századforduló második felében az 1990-es évekig. Emelkedett a talajokba jutó szerves anyagok mennyisége részben a növekvő állatlétszám (elsősorban a sertés, juh és baromfi), részben pedig abból eredően, hogy a gabonafélék és a napraforgó kombájnolását követően a melléktermékeket leszántották. Feltehetően 2-3-szor annyi tápanyag jut vissza a talajba szerves formában, mint a század első felében. Különösen igaz lehet ez a káliumra, hiszen a táblán maradó melléktermékek főként K-források.
2. A műtrágyák szerepe a tápelemforgalomban elenyésző volt a század első felében. Növekvő felhasználásuk a 60-as évekkel kezdődik és a 70-es évek derekától inkább csak ingadozik, stagnál. A 90-es években a műtrágyahasználat a töredékére zuhan vissza.
3. Döntően a műtrágyáknak köszönhető, hogy megszűnt a század első felében uralkodó rablógazdálkodás és a termések stagnálása. A P mérleg már a 60-as évek, az NK pedig a 70-es évek elejével pozitívvá válik. Ezzel elkezdődött talajaink tápanyagtőkájének bővített újratermelése, feltöltődése. Ez a folyamat két évtized után, a 90-es évek elejével megszakadt és a főbb tápelemek országos mérlege ismét hiánnyal zárult.

3.8 táblázat: A különféle növényekkel felvett NPK mennyisége, 1984. (Mezőgazdaságilag hasznosított terület)

Növényfaj ill. növénycsoport	Terület		Főtermés 1000 t	N P ₂ O ₅ K ₂ O			N P ₂ O ₅ K ₂ O			Össz. N + P ₂ O ₅ + K ₂ O	
	1000 ha	%		kg/t főtermésre			Felvett 1000 t-ban			1000 t	%
Búza	1361	22.3	7367	27	11	18	198.9	81.0	132.6	412.5	28.8
Rozs	75	1.2	192	26	12	26	5.0	2.3	5.0	12.3	0.9
Árpa	269	4.4	12.8	26	10	24	31.4	12.1	29.0	72.5	5.1
Zab	44	0.7	151	28	12	27	4.2	1.8	4.1	10.1	0.7
Kukorica	1107	18.1	6514	25	11	22	162.8	71.7	143.3	377.8	26.4
Rizs	13	0.2	33	22	10	20	0.7	0.3	0.7	1.7	0.1
Összes gabona	2869	47.0	15465	26	11	20	403.0	169.2	314.7	886.9	62.0
Borsó, bab	51	0.8	159	50	17	35	8.0	2.7	5.6	16.3	1.1
Ipari növények:											
Cukorrépa	109	1.8	4360	3.5	1.5	5.5	15.3	6.5	24.0	45.8	3.2
Dohány	12	0.2	19	45	14	80	0.9	0.3	1.5	2.7	0.2
Napraforgó	317	5.2	596	41	20	70	24.4	11.9	41.7	78.0	5.5
Repce	57	0.9	92	55	35	43	5.1	3.2	4.0	12.3	0.9
Egyéb olajosok	40	0.7	60	50	24	72	3.0	1.4	4.3	8.7	0.6
Rostlen és kender	10	0.2	71	12	5	10	0.9	0.4	0.7	2.0	0.1
Összes ipari	545	8.9	5198	10	5	15	49.6	23.7	76.2	149.5	10.5
Burgonya	52	0.9	1048	5	2	9	5.2	2.1	9.4	16.7	1.2
Silókuk. csalamádé	328	5.4	6424	3.5	1.5	4	22.5	9.6	25.7	57.8	4.0
Gyepszéna	1265	20.7	2004	17	6	18	34.1	12.0	36.1	82.2	5.7
Lucerna	333	5.5	1694	27	7	15	45.7	11.9	25.4	83.0	5.8
Herefélék	123	2.0	560	23	5	20	12.9	2.8	11.2	26.9	1.9
Egyéb növények	233	3.8	1061	20	5	15	21.2	5.3	15.9	42.4	3.0
Zöldség	95	1.6	2000	3.5	1.6	5.3	7.0	3.2	10.6	20.8	1.5
Szőlő	155	2.5	800	5.6	2.6	8.3	4.5	2.1	6.6	13.2	0.9
Gyümölcs	108	1.8	1655	7.3	3.9	9.6	12.1	6.5	15.9	34.5	2.4
Összesen	6106	100.0	38068				625.8	251.1	553.3	1430.2	100.0

Megjegyzés: Árpa (őszi és tavaszi együtt); Egyéb olajos (olajlen, mák, szója) ; Herefélék (vöröshere, herefüves és őszi takarmánykeverék); Egyéb növények (egyéb növény, egyéb takarmányok és takarmányrépa).

3.9 táblázat:Magyarország NPK mérlege, 1984. (Mezőgazdaságilag hasznosított terület)

Mérleg tétele	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Összesen	%
1000 tonnában (6 106 000 ha)					
Terméssel felvett	625.8	251.1	553.3	1430.2	
Visszapótolt:					
Műtrágyákkal	625.9	431.1	467.0	1524.0	70
Kukoricaszárral	32.6	14.3	100.3	147.2	7
Napraforgó szárral	4.9	2.4	29.2	36.5	2
Búzaszalma 1/3-a	13.2	5.4	30.9	49.5	2
Istállótrágyával	98.8	98.8	197.5	395.1	18
Pillangósok	29.3	-	-	29.3	1
Szerves trágya össz.	178.8	120.9	357.9	657.6	30
Visszapótlás együtt	804.7	552.0	824.9	2181.6	100
Egyenleg	+178.9	+300.9	+271.6	+751.6	
kg/ha (6 554 000 ha-ra vetítve)					
Terméssel felvett	95.5	38.3	84.4	218.2	
Visszapótolt:					
Műtrágyákkal	95.5	65.8	71.2	232.5	70
Kukoricaszárral	5.0	2.2	15.3	22.5	7
Napraforgó szárral	0.7	0.4	4.5	5.6	2
Búzaszalma 1/3-a	2.0	0.8	4.7	7.5	2
Istállótrágyával	15.1	15.1	30.1	60.3	18
Pillangósok	4.5	-	-	4.5	1
Szerves trágya össz.	27.3	18.4	54.6	100.3	30
Visszapótlás összesen	122.8	84.2	125.9	332.8	100
Egyenleg	+27.3	+45.9	+41.4	+114.6	
Intenzitás %-a	129	220	149	153	
(1/2 istállótrágyával %)	120	201	132	139	

Megjegyzés: A felvett N és P 20 %-a, valamint a K 70 %-a a táblán maradó melléktermékekben (kukorica, napraforgó, a búza 1/3-a) van. Pillangósok N igényüket a talajból fedezik 50 %-ban (lucerna, herefélék)

3.10 táblázat: Magyarország NPK mérlegének alakulása az 1930-as évektől, ill. a századfordulótól 1993-ig (Mezőgazdaságilag hasznosított terület, kg/ha)

Időszak	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Összesen	%
Termésekkel felvett					
1932-36	39.6	14.7	37.8	92.1	100
1960-64	46.9	18.3	47.5	112.7	122
1971	64.4	24.0	61.3	149.7	162
1975	79.7	29.3	76.5	185.5	201
1984	95.5	38.3	84.4	218.2	237
Visszapótlás szerves trágyákkal					
1932-36	6.6	6.6	15.9	29.1	100
1960-64	7.3	7.3	17.5	32.1	110
1971	14.0	11.3	37.0	62.3	214
1975	17.1	12.8	46.1	76.0	261
1984	27.3	18.4	54.6	100.3	344
1993	(19.7)	(10.8)	(39.5)	(70.0)	(241)
Visszapótlás műtrágyákkal					
1932-36	0.1	0.8	0.0	0.9	100
1960-64	15.6	11.6	6.8	34.0	3.777
1971	57.4	36.6	45.1	139.1	15.456
1975	79.1	63.4	81.7	224.2	24.911
1984	95.5	65.8	71.2	232.5	25.833
Visszapótlás összesen					
1932-36	6.7	7.4	15.9	30.0	100
1960-64	22.9	18.9	24.3	66.0	220
1971	71.4	47.9	82.1	201.4	671
1975	96.2	76.2	127.8	300.2	1.001
1984	122.8	84.2	125.9	332.8	1.109
1993	(115.2)	(76.6)	(110.7)	(302.5)	(1.008)
Egyenleg					
1932-36	-32.9	-7.3	-21.9	-62.1	33 ⁺
1960-64	-24.0	0.6	-23.2	-46.7	59 ⁺
1971	7.0	23.9	20.8	51.7	134 ⁺
1975	16.5	46.9	51.3	114.4	162 ⁺
1984	27.3	45.9	41.4	114.6	153 ⁺
1993	(19.8)	(38.4)	(26.4)	(84.6)	(139 ⁺)

+ Kifejezi, hogy a terméssel felvett tápanyag hány %-át pótoltuk vissza trágyázással. Ez a visszapótlás intenzitása.

() 1/2 istállótrágya mennyiséggel számolva, 50 %-os veszteséget feltételezve.

3.4 A tápanyagmérlegek, a talajok tápelemellátottsága és a műtrágyázás összefüggése

Felmerülhet a kérdés, mennyire lehetett indokolt a 80-as évek talajgazdagító trágyázása? Mennyiben tükrözik a rendszeres talajvizsgálatok eredményei a mérleg pozitívumait? Mennyire csökkent a foszforral és káliummal nem kielégítően ellátott területek részaránya hazánkban? Utóbbi kérdésre is válaszolhatunk, hiszen ez idő tájt már országos adatbázis állt rendelkezésre talajaink tápanyag-állapotának megítélésére. A volt MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ megyei állomásai egységes módszerekkel, hosszú évek óta vizsgálták művelt területeinket e szempontból.

Az irodalmi utalások alapján feltehető, hogy kezdetben az igényesebb kalászosok a legtöbb termőhelyen pozitívan reagáltak a P trágyázásra. Várallyay (1954) például 125 szabadföldi kísérlet eredményét elemezve megállapítja, hogy bár a N hatások a legkifejezettebbek, a kenyérgabonák általában meghálálják a P-trágyázást. Talajaink nagyobb részén az NP ellátottság nem volt kielégítő az intenzív műtrágyázás elterjedését megelőzően. Ez ma is igaz olyan talajokon, ahol nem műtrágyázunk: rétek, legelők, erdők, természetvédelmi területek stb. Úgyszintén megfigyelhető ez az állapot a fejlődő országok mezőgazdaságában, ahol közismerten ma is a talajok termőképességét azok nem kielégítő tápelem-ellátottsága limitálja Hauser (1973) FAO szakértő szerint.

A 70-es évek közepén rendelkezésre álló TVG adatokból arra következtettünk, hogy a magyar talajok mintegy 1/3-a gyengén, 1/3-a közepesen és 1/3-a feltehetően kielégítően ellátott volt foszforral (Kádár 1979). A MÉM NAK TVG adatait felhasználva összeállították az I. talajvizsgálati ciklus országos eredményeit az 1978-81. évekre, ahol a vizsgált terület fele már kielégítőnek mutatkozott (Szerk: Kovács 1984). A II. TVG ciklus az 1982-85. évek adatait ölelte fel. Itt már a vizsgált terület 64 %-a, közel 2/3-a mutatkozott kielégítően ellátottnak. Az elmondottakat a 3.11 táblázat kíséri meg összefoglalni.

Nem túl öröndetes jelenség, hogy a 80-as években 30 %-ra nőtt a foszforral már nemkívánatosan túltáplált talajok aránya, míg a gyengén ellátott területeké gyakorlatilag nem csökkent a II. ciklusban. Ugyanis mind a túltrágyázás, mind az alultrágyázás veszélyeztetheti a talajtermékenységet.

Míg a hagyományos gabonatermesztéssel, amint már említettük, különösen az árugabonák termesztésével elsősorban P-ban szegényedtek talajaink az évezredes rablógazdálkodás következményeként, a K-mal éppen fordított volt a helyzet. A P az eladott, ill. a gazdasági körforgalomból kiváló szemtermésben koncentrálódik, míg a melléktermékekben akkumulálódó K vagy közvetlenül a táblán marad, vagy az istállótrágyán keresztül többé-kevésbé visszakerül a talajba. A réti szénatakarmány K tartalma szintén a szántót gazdagítja. Ehhez járul még, hogy a talajok K készlete általában egy nagyságrenddel meghaladja a P készletet.

Az előbbiekből adódóan a homokokat kivéve, melyek talajaink közel 1/5-ét adják, a K ellátottság jobb volt az intenzív műtrágyázás bevezetése előtt is. Persze jelentős különbségek álltak fenn és találhatók ma is az egyes vidékek között. A már a rómaiak által is művelt Dunántúlon a trágyázás meglehetősen általános

jelenség volt évszázadok óta. Ugyanakkor az Alföld újonnan művelésbe vont gazdag csernozjom talajain a múlt század elején még nem trágyáztak.

3.11 táblázat: Magyarország talajainak becsült P és K ellátottsága a vizsgált terület %-ában az 1930-as évektől, ill. a századfordulótól 1985-ig

Időszak	Gyenge	Közepes	Kielégítő	Magas	Megjegyzés
P-ellátottság					
1900-1950	40-50	30-40	10-20	0- 5	Saját becslés
1960-70	30-40	30-40	20-30	0- 5	Saját becslés
1970-75	20-30	30-40	30-40	5-10	Saját becslés
1978-81	15	37	38	10	MÉM NAK
1984					
1982-85	14	22	34	30	MÉM NAK
1986[RP1]					
K-ellátottság					
1900-1950	20-30	30-40	20-30	5-10	Saját becslés
1960-70	20-30	30-40	20-30	5-10	Saját becslés
1970-75	20-30	30-40	20-30	10-15	Saját becslés
1978-81	12	40	35	13	MÉM NAK
1984					
1982-85	22	28	30	20	MÉM NAK
1986					
N-ellátottság					
1900-1950	40-50	30-40	10-20	0- 5	Saját becslés
1960-70	30-40	30-40	20-30	0- 5	Saját becslés
1970-75	20-30	20-30	30-40	10-20	Saját becslés
1975-80	10-20	20-30	40-50	10-20	Saját becslés
1980-85	5-10	10-20	50-60	20-30	Saját becslés

Cserhádi és Kosutány (1887) szerint az istállótrágyát ekkor még gyakran elégetik, mert a trágyázás hatástalan volt, esetleg káros lehetett. Az 1800-as évek második felében, ill. a századfordulón azonban trágyázásra kényszerülnek a magyar Alföldön is, mert a termések fokozatosan csökkennek. A szántó termékenységének fenntartása alapvetően a rét szénájával történik az istállótrágya közvetítésével. Ditz (1867) szerint a majoroktól távolodva koncentrikus körök rádiusza-ként a szántók egyre kevesebb istállótrágyát kaptak és így csökkent értékük, valamint termékenységük is.

Annak ellenére, hogy ekkor az árutermelő jelleg (Cserhádi szerint) még nem uralkodó és a tápanyagforgalom az üzemben zártabb, a N mérleg a szántón 20, míg a P 50 % hiányt mutatott. A K-ra 200 % többlet jelentkezett ugyanakkor. Ahhoz, hogy a szántón az egyensúlyt fenntartsuk, kb. kétszer akkora rétre lenne szükség. A hiány főként P-ből áll fenn, terméseink a P-től fognak függeni, mert a N mérleget javíthatjuk pillangósokkal - állapítja meg Cserhádi (1900). A rét és a szántó arány azonban egyre romlik, amellet a réteket sem trágyázzuk. A széna

sok K-ot von ki a talajból, amit a szántón eltemetünk. A gazdát azonban nem érdekli a szántóra jutó K feleslege, mert nem fizetett érte (Cserhádi és Kosutány 1887).

A gazdálkodás módja tehát a szántókon K-bőséget eredményezett, ez a bőség azonban viszonylagos. A hasznosított terület (szántó + rét és legelő) egészét tekintve ugyanis fennállt a rablógazdálkodás lehetősége, a talajok K készletének fokozatos csökkenése. Igaz, hogy a kötöttebb és újonnan művelésbe vont gazdag mezősegi talajok még sok-sok éven, esetleg évszázadokon át megfelelő K-forrásul szolgálhatnak. Míg a N műtrágyák elterjedését drágaságuk gyakorlatilag lehetlenné tette, a K műtrágyákat inkább csak a tőzeg és homok talajokon tartották szükségesnek a már említett okok és azok nyomán kialakult szemlélet alapján. Ebből adódóan a múlt század 70-es éveiben induló műtrágyázás egyet jelentett hazánkban a P-műtrágyázással. A kézikönyvek hosszú évtizedeken át a német Wagner-t idézik: "P nélkül nincs műtrágyázás, K nélkül igen, ritkán N nélkül is". Ezt tartották követendőnek Magyarországon is.

A kálium jelentőségének megítélése földművelésünkben lényegében nem változott e század derekáig, az 50-es évekig. A K pótlása döntően továbbra is az istállótrágyák által történt. A műtrágya-felhasználás jelentéktelen maradt, nem érte el az 1 kg/ha K_2O mennyiséget sem. Mindez annak ellenére, hogy a szántó/rét + legelő aránya egyre szűkült. Csökkent a K bősége a szántón és a K-mérleg hiánya egyre nagyobbá vált az üzemekben.

A K műtrágyák felhasználása szintén az 1950-es évekkel gyorsul fel, bár még ekkor is másodlagosnak tekintették a K műtrágyázást. Az 1963-ban megtartott Országos Trágyázási Anketon pl. az a vélemény alakult ki, hogy a kalászos növényeket K-mal nem szükséges trágyázni. A kukoricára 30-70 kg/ha K_2O adagokat javasoltak, elsősorban a már régebben istállótrágyázott talajokon. Tehát még a K-mal nem kielégítően ellátott területeken sem tekintették szükségesnek a terméssel kivont K teljes pótlását (Trágyázási Anket 1963).

Ebben az időben a Wagner-i idézet az alábbiak szerint módosult: "Nitrogén a magyar föld műtrágyája, ezt követi a foszfor és csak ritkán a kálium." A felhasznált műtrágyák mennyiségét tekintve a N több mint kétszeresét, a P_2O_5 pedig 1.5-2-szeresét tette ki a K_2O mennyiségének. Sarkadi (1975) még a közelmúltban az alábbiakat képviselte: "...már a közepes K-tartalmú talajokon sem tartjuk okvetlenül szükségesnek a terméssel kivont K teljes visszapótlását, még az igen kevés K-ot tartalmazó talajokon javasolt adagok is csak mintegy 25 %-kal haladják meg a várható termés káliumtartalmát." A P-szegény talajokon ugyanakkor a várható termés P-tartalmának 2.5-szeresét is célszerűnek tekintette a szerző a talajba visszajuttatni.

Ezzel szemben Kádár (1979, 1980) történeti szemmel elemezve a K jelentőségét földművelésünkben arra hívta fel a figyelmet, hogy a "Korábbi szemléletünk, melyet a K mérsékeltebb szerepéről vallottunk, revideálandó, mert a hozzá való ragaszkodás a megváltozott körülmények (földművelési rendszerek) között maga válhat termékenységet gátló tényezővé." A K gazdálkodásunk főbb tényezőire utalva az alábbi szempontokat hangsúlyoztuk:

A földművelésünkre jellemző növénytermesztő, ill. a szántóművelésünkben érvényesülő monokultúrák jelleg az alacsony szintű istállótrágya-gazdálkodással

párosulva a K műtrágyák iránti igényt növelő tényező. Monokultúrában egyoldalú a talaj tápanyagainak hasznosulása, hiszen ugyanaz a növényfaj ugyanazon tápelemfrakciót gyorsabban kimerítheti. Egyébként is nő a termésingadozás, gyakrabban lépnek fel a betegségek stb. Ebből adódóan a N, de különösen a P túltrágyázás iránti igény a 70-es évek elejére igen erősen jelentkezett. Országosan a termésekkel felvett P mintegy kétszeresét pótoltuk.

A gyorsan javuló N és P ellátás nyomán gyakran minimumba került a K, és amint szabadföldi kísérletekkel igazoltuk, még a nem K igényesnek tartott kalászosok is meghálálhatják a K trágyázást, nemcsak a K szegény homokokon, hanem a vályog csernozjomon is (Kádár 1980). Nem lehet célunk tehát a jövőben, hogy talajaink K készlete csökkenjen. Gondoskodnunk kell a K ellátottság fenntartásáról teljes visszapótlással. Sőt a talajgazdagító K trágyázás is indokoltnak látszott országosan és a K-mal gyengébben ellátott területeken. Beleértve a vályog csernozjomokat is, amennyiben a K trágyázás együtt jár "hasznos" luxusfelvétellel, tehát egészségesebb növényvel, jobb minőséggel, betegséggellenállósággal, nagyobb terméssel és így gazdaságilag is kifizetődik.

Az országos K-mérlegben alapvető változások következtek be az 1970-es évek elején. A K műtrágyázás színvonala elérte a N műtrágyázását és így a K mérlegünk pozitívvá vált. A talajgazdagító trágyázásra való törekvés a növénytermesztés "iparszerű" jellegéből adódott. A drága gépek és géprendszerek, vegyszerek felhasználása oly mértékben növelte a termelés önköltségét, melyet az élőmunka megtakarítás közel sem volt képes ellensúlyozni. Megnőttek ezért a talaj termékenységével szembeni követelmények. A termelés csak a tápanyagokkal jól ellátott és termékeny talajokon folyhatott, növekvő terméseket feltételezve. Szükségessé vált a tápanyagokban szegény területek "feltöltése", a kielégítő vagy optimális ellátottság létrehozása igen rövid idő alatt.

Ha egy hosszabb történelmi időszakot vizsgálunk, pl. a századunk tápelemgazdálkodását, akkor a túltrágyázásra való törekvés indokoltnak látszik. Becsléseink szerint a századfordulótól a 60-as évek végéig mintegy 1000-1500 kg/ha K_2O veszteség állhatott elő a növényi K felvétellel, melyet a trágyázással nem pótolunk. Az ezt követő 20-25 év alatt megközelítően ilyen mérvű volt a talajgazdagító K trágyázás. Ebből adódik, hogy talajaink K ellátottsága hasonló lehetett a 90-es évek elejére mint a múlt század végén, hiszen a mérleg egyensúlyba kerülhetett.

Természetesen ez absztrakció csupán. Hiszen nincsen a valóságban "átlagos magyar talaj", vagy országos átlag egy konkrét gazdaság vagy tábla szintjén. Inkább gondolati, szemléleti módszerről vagy modellről beszélhetünk az országos elemmérlegek kapcsán. Az átlagok éppen hogy elfedik az extremitásokat, azt, hogy nőhet a szegény és gazdag üzemek közötti különbség. Ez azt is jelenti, hogy a szegény üzemekben erősödik a rablógazdálkodás, tehát a tápelemekkel gyengén ellátott talajok részaránya. Ugyanakkor a prosperáló üzemekben gyakran a túltrágyázás okozott gondot és veszélyeztette a talajok tápelemmegensúlyát és ezzel termékenységüket.

3.5 Északnyugat-Európa és Magyarország gazdálkodásának összevetése

A XVIII. században a nyugat-európai lakosság élelmezése is alacsony színvonalú volt és főleg gabonából állott. Helyenként még az 1800-as évek elején is előfordultak éhínségek és nyomukban a kivándorlási hullámok. A kereső népesség több mint 3/4-e földművelésből élt. A tej és a hús haszna elenyésző volt kezdetben az állatok munkavégzéséhez viszonyítva. A tehenek pl. csak tavasztól ősziig tejeltek, időszakosan. A téli takarmányozás színvonala az állomány pusztá létfenntartását biztosította.

Nyugat-Európa mezőgazdaságában azonban fontos változások történnek az 1700-as évek folyamán. Lassan megszűnik az ugarolás és helyébe a vetésforgó lép trágyázással. Az ugar helyére kapásnövények és főleg takarmánynövények kerülnek. Kialakul a növénytermesztés és az állattenyésztés kombinációja. A mezőgazdaság ilyen irányú fejlődése itt valósult meg először és ezzel a régió több mint egy évszázadra a világ élére került. Az átalakulás időben megelőzte az ugyancsak innen induló ipari forradalmat.

A korábbi hagyományos gazdálkodás általában nem volt képes a növénytermesztés és az állattenyésztés összekapcsolására. Később a "modern" gazdaság, főleg a tengerentúli, az erős specializáció miatt különíti el a gazdálkodás két ágát. Északnyugat-Európában több tényező hatására létrejön az a logikus kapcsolat, amikor az istállózó állattartás szolgáltatja a trágyát és a vonóerőt, az állatok táplálását pedig a szántón termelt takarmányok és egyéb melléktermékek biztosítják.

Itt megmaradt a kisbirtok, amely képes volt a két ágazat előnyeit összekapcsolni. A szálaltakarmányok termelésére kedvezőek a természeti feltételek. Az óceáni nedves klíma, a hűvös csapadékos nyár és az egyenletesebb csapadékeloszlás segíti a zöld vegetációt. A hasznosított terület jelentős része rét és legelő, sőt a szántóföld nagyobb része is a takarmánytermelést szolgálja. A mezőgazdaság legfőbb terméke a tej és tejtermékek, valamint a hús, mely a belterjes állattenyésztésen alapul. A nagy népsűrűség, a felvevő piacokhoz és ipari centrumokhoz való közelség is szerepet játszott a gazdálkodási típus létrejöttében.

A növénytermesztés tehát alárendelt, a két alapvető mezőgazdasági ágazat kombinációjának célja az állattenyésztés alátámasztása. A javuló életszínvonal is főként az állati termékek iránti, ugrásszerűen megnövekedett igényeket idézte elő. Az állattenyésztésben a szarvasmarha mellett a sertés és baromfi játszik fontos szerepet. A sertésenyésztés gyakran közvetlenül kapcsolódik a tejgazdasághoz, mert nagy mennyiségű lefölözött tejet takarmányoznak fel (Enyedi 1965).

Hazánk éghajlata kontinentálisabb, a nyár száraz és viszonylag forró, gyakran aszályos Nyugat-Európához viszonyítva. Földhasznosításunkban a szántóművelés uralkodik, növénytermelésünkben elsőrendű a gabonafélék szerepe, melyek közül a búza és a kukorica emelkedik ki. Az állattenyésztés súlya kisebb, hiányoznak azok a kedvező természeti adottságok (klíma), melyek az olcsó takarmánytermesztést segítenék. A mezőgazdaságunkra jellemző kontinentális jelleg tápanyaggazdálkodásunkban is visszatükröződik és műtrágyaigényünket befolyásolhatja.

Különös jelentőségre tehet szert mindezek megértése a műtrágyázás terén szerzett nemzetközi tapasztalatok átvételénél, a nemzetközi műtrágyafelhasz-

nálási trendek elemzésénél, az ország távlati műtrágya szükségletének tervezésénél. Amikor hazánk tápanyaggazdálkodásának fejlődését vizsgáljuk és megkíséröljük összevetni némely nyugat-európai országgal, az itt elmondottakra is támaszkodunk.

3.6 Németország, Ausztria és Magyarország NPK mérlegének összehasonlítása

Az országos elemzések lehetővé teszik egy-egy ország földművelésének összevetését más országokéval és így a nemzetközi történelmi tapasztalatok átvételét. Németországban a Gericke (1967) által hasonló módon összeállított NPK mérleget a 3.12 táblázatban mutatom be, némileg átdolgozva, Ausztria NPK mérlegét ill. tápanyag-gazdálkodását a 30-as évektől a 70-es évek elejéig korábban részletesen elemeztem (Kádár 1977b, 1979), melynek főbb eredményeit a 3.13 táblázatban foglaltam össze. A 3.14 táblázatban Ausztria és Magyarország tápelemmérlegeinek összehasonlítására is mód nyílik.

3.12 táblázat: Németország tápanyagmérlegének alakulása 1878/80-1964/66 között Gericke (1967) nyomán (Mezőgazdaságilag hasznosított terület, kg/ha)

Évek	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Össz.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Össz.
	Felvett					Visszapótolt		
1878/80	36	18	50	104	17	7	16	41
1898/1900	43	22	55	120	27	22	30	79
1925/27	50	25	72	147	46	30	59	135
1936/38	64	32	93	189	59	40	78	177
1935/38*	75	30	93	198	65	42	82	189
1956/68*	91	37	129	257	90	60	123	273
1964/66*	102	41	138	281	112	78	141	331
	Mérleg					Visszapótlás %-a		
1878/80	-19	-10	-34	-63	47	44	32	39
1898/1900	-16	+ 0	-25	-41	63	100	55	66
1925/27	- 4	+ 5	-13	-12	92	120	82	92
1936/38	- 5	+ 8	-15	-12	87	125	84	94
1935/38*	-10	+12	-11	- 9	87	140	88	95
1956/58*	- 1	+23	- 6	+16	99	162	95	106
1964/66*	+10	+37	+ 3	+50	110	190	102	118

* NSZK területére vetítve

Megállapítható, hogy Ausztriában már a 30-as években pótolták a terméssel kivont tápelemek mintegy 80 %-át, míg nálunk ebben az időben csak 1/3-át. Németország P-mérlege már a századfordulón egyensúlyba került, 60 évvel

3.13 táblázat: Ausztria tápanyagmérlegének alakulása 1937-73. között
(Mezőgazdaságilag hasznosított terület, kg/ha)

A mérleg tételei	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Összesen
1937				
Terméssel felvett	53.5	23.7	64.2	141.4
Visszapótolt:				
Istállótrágyával	18.3	22.0	44.0	84.3
Hígtrágyával	4.4	0.2	13.2	17.8
Összesen	22.7	22.2	57.2	102.1
Műtrágyákkal	5.1	4.2	2.6	11.9
Mindösszesen	27.8	26.4	59.8	114.0
Egyenleg	-25.6	+2.7	-4.4	-27.4
Egyenleg intenzitása, %	52	111	93	81
1969				
Terméssel felvett	82.9	36.9	94.1	213.9
Visszapótolt:				
Istállótrágyával	18.2	21.8	43.6	83.6
Hígtrágyával	4.7	0.2	13.4	18.1
Összesen	22.7	22.0	57.0	101.7
Műtrágyákkal	29.8	31.1	36.6	97.5
Mindösszesen	52.4	53.1	93.6	199.1
Egyenleg	-30.4	+16.2	-0.5	-14.8
Egyenleg intenzitása, %	63	144	100	93
1973				
Terméssel felvett	85.5	36.4	94.7	216.6
Visszapótolt:				
Istállótrágyával	20.0	24.0	48.0	92.0
Hígtrágyával	4.9	0.2	14.8	19.9
Összesen	24.9	24.2	62.8	111.9
Műtrágyákkal	35.9	33.2	40.3	109.4
Mindösszesen	60.8	57.4	103.1	221.3
Egyenleg	-24.7	+21.0	+8.4	+4.7
Egyenleg intenzitása, %	71	158	109	102

korábban, mint nálunk. Mindez azt is jelentette, hogy egységnyi terméstöbblet előállításához több műtrágyát kellett használnunk az elmúlt évtizedekben, mint a fejlett országokban. Műtrágyaszükségletet befolyásoló tényező lehet tehát a történelmi múlt is, a gyengén ellátott talajok aránya.

Az Ausztriában végzett szisztematikus talajvizsgálatok eredményei szerint 1954-ben az összes vizsgált minták 83 %-a volt rosszul ellátott P-ral, míg 1973-

ban csak 25 %-a. Ugyanez az arány K esetén 45-ről 16 %-ra csökkent (Jahresbericht 1973). Németországban ma már közismerten a talajok túlzott tápelemellátottsága okoz gondot. Még a legkevesbé "veszélyes" K túltrágyázás is mintegy 2000 DM veszteséget okozhat évente a gazdáknak. Mégpedig a káliumigényesnek ismert, káliummal túltrágyázhatatlannak ítélt burgonyánál Köstner et al. (1988) szerint. A két éven át végzett országos felvételezések eredményeit a 3.15 táblázatban mutatom be.

3.14 táblázat: Ausztria és Magyarország tápanyag-gazdálkodásának összehasonlítása (Mezőgazdaságilag hasznosított terület, kg/ha)

Ország megnevezése Évek	Ausztria		Magyarország				
	1937	1969	1973	1932-36	1960-64	1971	1975
	N + P ₂ O ₅ + K ₂ O kg/ha						
Termésben	141	214	217	92	113	150	186
Műtrágyákban	12	98	109	1	34	139	224
Szerves trágyákban	102	102	112	29	32	37	38
Összesen	114	199	221	30	66	176	262
Egyenleg	-27	-15	+ 5	-62	-47	+52	+114
Visszapótlás %-a	81	93	102	33	59	134	162

3.15 táblázat: A talajok könnyen felvehető K tartalma, valamint a burgonya termése, minősége és jövedelmezősége. LUFA felvételezések az 1978. és 1979. években, NSzK (Köstner et al. 1988)

Termőhelyi jellemzők	CaCl ₂ -oldható (mobilis) K a talajban, mg/kg			
	50 alatt	60-90	100-150	150 felett
Termőhelyek száma	27	86	63	16
Gumó K-tartalma, %	2.16	2.31	2.44	2.68
Gumóhozam, t/ha	49.6	49.1	47.1	46.1
Keményítőtartalom, %	16.6	15.9	15.3	14.4
Keményítőhozam, t/ha	8.2	7.9	7.3	6.6
Bruttó árbevétel 1000 DM/ha	8.7	8.4	7.7	6.8

3.7 Műtrágyák terjedését gátló szemléletek és a műtrágyázási trendek elemzése

A műtrágyák szélesebb körű elterjedését hosszú időn keresztül gazdasági okokon kívül (agrárolló) szemléleti-tudati tényezők is gátolták hazánkban. Kétségtelen ugyanis, hogy az intenzívebb műtrágyázásra való áttérés más körül-

mények között történt Nyugat-Európában mint Magyarországon. A fennálló különbségeket hangsúlyozva arra hívták fel a figyelmet, hogy mezőgazdaságunk nem rendelkezik a műtrágyák érvényesüléséhez szükséges előfeltételekkel. Ez a szemlélet még az 1950-es, 1960-as években is hatott, ill. vezető tekintélyek képviselték közvetlenül az intenzív műtrágyázás bevezetése idején is (Kreybig 1951, Kemenes 1959, Fekete 1965).

Nyugat-Európa mezőgazdaságát jellemző természeti-gazdálkodási tényezők között, melyek a hatékony műtrágyázás előfeltételei, az alábbiakat említették:

- kedvező csapadékviszonyok az óceáni hatás eredményeképpen;
- a gyeptároló vetésciklus tradicionális alkalmazása nyomán létrejött jó szerkezetű talajok;
- a nagyobb állatsűrűséggel és a belterjesebb műveléssel együtt járó intenzív istállótrágya-gazdálkodás;
- a gyepek és az erős istállótrágyázás nyomán kialakuló magas szintű humusz-gazdálkodás.

Így pl. Fekete (1965) az angol és a magyar mezőgazdaságot műtrágyázási szempontból összehasonlítva megállapítja, hogy az intenzív műtrágyázás bevezetéséhez "...a mi kiindulási alapunk sokkal rosszabb. A magyar talajok szervesanyag-állapota rendszerint nem kielégítő és szerkezetük leromlott. Hiányzik nálunk a több évszázados gyeptároló vetésciklus. Ezért minden további nélkül nem követhetjük a brit példát. Leromlott talajainkon a vegyes istállótrágyázáson és a nagy adagú műtrágyás gazdálkodáson keresztül kell eljutnunk a tisztán műtrágyás gazdálkodáshoz."

Az a körülmény azonban, hogy a műtrágyák hatékonyságát befolyásoló némely általános éghajlati-talajtani tényező kedvezőtlenül alakult hazánkban, nem korlátozta szükségszerűen sem a műtrágya-felhasználásunkat, sem a termékelvárásainkat. Az elmúlt három évtized alatt sikerült a szárazabb gazdálkodási körülmények között is a főbb kultúrák termésátlagait 2-3-szorosára növelnünk. Bár nem változott lényegesen szervesanyag gazdálkodásunk, nem hódított tért a gyeptároló vetésciklus és nem változott az ország éghajlata.

Történelmi tapasztalat, amint már korábban is mind itthon, mind külföldön többen rámutattak, hogy a Nyugat- és Kelet-Európa talajainak termékenységében fellelhető különbségek nem az éghajlatban, a talajok szerkezetében vagy humusztartalmában keresendők, hanem azok tápanyagállapotában (Cserhádi és Kosutány 1887, Prjanisnyikov 1945, Sarkadi 1975, Kádár 1980). Műtrágya felhasználásunk az 1970-es évek közepétől már elérte Nyugat-Európa színvonalát. Az európai műtrágyafelhasználási rangsorban Magyarország az 1961-65. években a 13., 1970-ben a 9., 1975-ben és 1984-ben egyaránt a 6. helyet foglalta el. Az élenjáró Hollandia az 1961-65. években 5.5-szer, 1970-ben 2.4-szer, míg 1975. és 1984. években mindössze 1/3-dal használt több műtrágyát hazánknál a mezőgazdaságilag hasznosított területeken. (3.16 táblázat)

Számos félreértés forrása szakkörökben, hogy a nemzetközi műtrágyafelhasználás statisztikai adatait gyakran félreértelmezik. Nem tesznek különbséget a tekintetben, hogy az adatok összes mezőgazdaságilag hasznosított területre, művelt területre, esetleg szántóra vonatkoznak. Nyugat-Európa számos országá-

ban a hasznosított terület jelentős része rét és legelő, melyeket esetenként jobban műtrágyáznak mint a szántókat. Amennyiben a gyepek részaránya jelentős a hasznosítottból (Svájc 80 %), ill. azokat erősen műtrágyázzák (Hollandia 57 %), a műtrágyafelhasználási mutatókban jelentős, esetleg többszörös eltérések lépnek fel attól függően, hogy azokat művelt területre vagy hasznosított területre vetítjük-e (3.17 táblázat).

3.16 táblázat: Műtrágyafelhasználás trendjének alakulása néhány európai országban. Mezőgazdaságilag hasznosított terület N + P₂O₅ + K₂O kg/ha (FAO Annual Fertilizer Review 1976, 1985, 1988)

Ország	1961-65	1970	1975	1984	1987
Ausztria	76	105	82	100	86
Belgium-Luxemburg	245	298	284	289	276
Bulgária	39	106	114	156	121
Csehszlovákia	99	181	236	256	230
Dánia	147	201	217	227	216
Egyesült Királyság	74	100	98	123	134
Franciaország	82	143	144	178	186
Hollandia	232	296	303	317	316
Jugoszlávia	26	43	50	66	73
Lengyelország	52	132	190	181	174
Magyarország	42	122	224	232	211
NDK	171	238	284	250	269
NSzK	186	238	234	269	263
Olaszország	45	66	85	116	135
Románia	11	40	80	86	92
Svájc	24	68	68	84	88

Hollandia műtrágyafelhasználása tehát nem volt többszöröse hazánkénak, hiszen a 738 kg/ha NPK hatóanyag mennyiséget 1984-ben nem a szántóterületeken hasznosították. Nagyobb részét ugyanis a gyepek trágyázására fordították. Hasonlóképpen nem állíthatjuk, hogy Svájc extenzív gazdálkodást folytat, mert a hasznosított területre vetítve mindössze 84 kg/ha felhasználást mutat. Az alpesi legelőket ugyanis nem, vagy csak alig műtrágyázzák. A szántók műtrágyázása ugyanakkor erőteljes. A művelt területre számítva 414 kg/ha a hatóanyag- felhasználás.

3.17 táblázat: A mezőgazdaságilag művelt és a hasznosított területre jutó N + P₂O₅ + K₂O műtrágya összefüggése néhány európai ország példáján, 1984. Mezőgazdasági Statisztikai Zsebkönyv, 1985.

Ország	Hasznosított mg-i terület 1000 ha	Ebből művelt terület 1000 ha	Gyepes terület 1000 ha	%	N, P ₂ O ₅ , K ₂ O 1000 t	N, P ₂ O ₅ , K ₂ O kg/ha Művelt Hasznosított Művelt sított %-ában		
Ausztria	3537	1517	2020	57	353	216	100	46
Belgium-Luxemb.	1499	827	672	45	433	521	289	55
Bulgária	6177	4137	2040	33	964	238	156	66
Csehszlovákia	6835	5170	1665	24	1749	340	256	75
Dánia	2881	2639	242	8	653	246	227	92
Egy. Királyság	18691	6986	11705	63	2301	365	123	34
Franciaország	31285	18720	12565	40	5571	299	178	60
Hollandia	2008	865	1143	57	636	738	317	43
Jugoszlávia	14190	7813	6377	45	940	120	66	55
Lengyelország	18879	14799	4080	22	3424	231	181	78
Magyarország	6570	5291	1279	20	1524	288	232	80
NDK	6250	5000	1250	20	1565	314	250	80
NSzK	12079	7449	4630	38	3246	435	269	62
Olaszország	17273	12222	5051	29	2004	161	116	72
Románia	14981	10556	4425	30	1289	122	86	70
Svájc	2021	412	1609	80	170	414	84	20

3.8 Regionális tápelemforgalmi vizsgálatok Ausztriában

A fentiekből következik, hogy a nemzetközi tapasztalatok átvétele nagy körültekintést igényel. Csak az illető ország gazdálkodásának ismeretében értelmezhetők a statisztikák, vonhatók le a tanulságok. A Nyugat- és Kelet-Európa gazdálkodásában fennálló különbségeket, melyek műtrágyaigényüket is meghatározhatják, a tápanyaggazdálkodásuk függvényében kell tanulmányozni. Az egész tápelemforgalmat kell elemezni, nem lehet kiszakítani ebből a műtrágyát. A gazdálkodás típusa és a műtrágyafelhasználás közötti kapcsolatokat behatóbban Ausztria példáján tanulmányozhatjuk (3.18 táblázat).

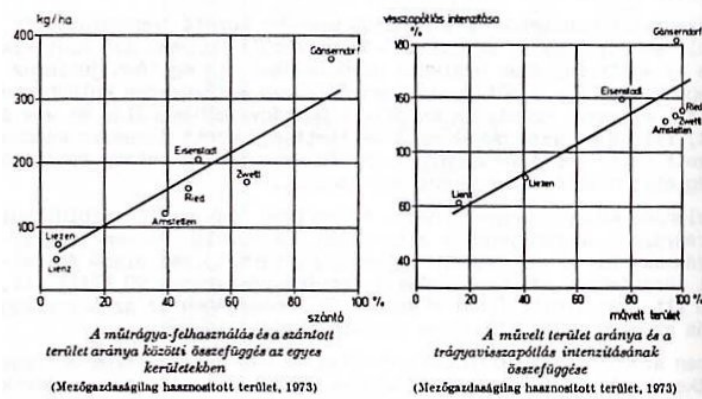
A szomszédos Ausztriában ugyanis szinte a "tisztá" állattenyésztő rét-legelő gazdálkodás típusa (Tirol, Stájerország) mellett a "tisztá" növénytermesztő típus is jelen van. Utóbbiakhoz Burgenland és Alsó-Ausztria szántóművelő, túlnyomóan gabona monokultúrás gazdálkodása tartozik. Természetesen megfelelően képviselve vannak az átmenetek is. E célra Otto Steineck professzor (Hochschule für Bodenkultur, Bécs, Ausztria) segítségével 7 kerületet választottam ki. A kerületek gazdálkodását a tápelemmérlegek módszerével hasonlítottam össze (Kádár 1977a, b, 1982).

3.18 táblázat: Az eltérő gazdálkodási típusú kerületek tápanyagforgalma Ausztriában. Mezőgazdasági hasznosítású terület, 1973.

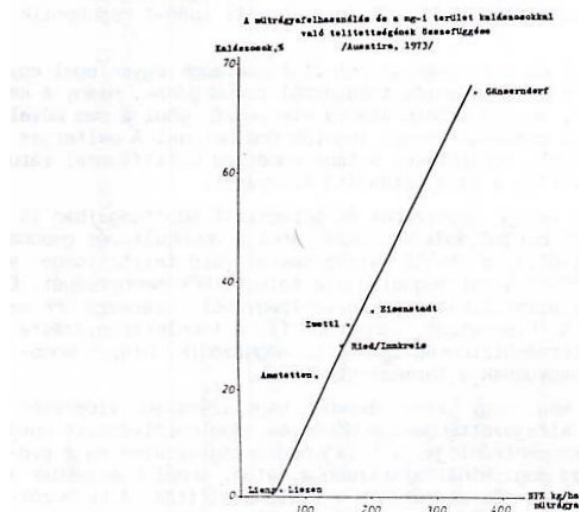
Kerületek jellemzése	Linz (Tirol)	Liezen (Stájerország)	Amstetten (Alsó-Ausztria)	Ried/Innkreis (Felső-Ausztria)	Eisenstadt (Burgenland)	Zwettl (Alsó-Ausztria)	Gänserndorf
A hasznosított területből							
kalászos	0.4	0.8	22.5	28.7	34.7	39.6	68.7
szántó %-a	5.0	5.5	38.9	46.5	49.5	65.2	91.5
művelt terület %-a	17.2	40.9	94.3	99.6	77.3	98.3	98.1
N + P₂O₅ + K₂O, kg/ha							
termésben	149.4	183.7	250.9	317.0	169.0	243.6	221.5
műtrágyában	49.4	68.0	120.8	158.6	204.1	168.5	363.3
szerves trágyában	42.4	85.6	226.5	252.6	31.7	146.8	40.6
összes trágyában	91.8	153.6	347.3	411.2	235.8	315.3	403.9
Egyenleg	-57.6	-30.1	+96.4	+94.2	+66.8	+71.7	+182.4
Visszapótolt %-ban	61.4	83.6	138.4	129.7	139.5	129.4	182.3
Számosállat, db/ha							
hasznosított területre	0.3	0.6	1.4	1.8	0.2	1.0	0.3
művelt területre	1.8	1.5	1.8	1.8	0.3	1.1	0.3
Szerves trágyák rész- aránya az adott összes NPK %-ában	46.2	55.7	65.2	61.4	13.4	46.6	10.1

A reprezentatív kerületek mérete 30-80 ezer ha között ingadozott. Ez elégséges volt ahhoz, hogy az egyedi (10-30 ha körüli) üzemek szórását kiküszöböljük és az adott régióban uralkodó gazdálkodást kielégítően jellemezzük. Megállapítható, hogy a műtrágyafelhasználásban 8-10-szeres különbségek is előfordultak az egyes kerületek között. A műtrágyafelhasználás és a szántott terület, ill. a kalászosokkal való telítettség között lineáris kapcsolat mutatkozott (3.19 és 3.20 ábra). A szántó

3.19 ábra



3.20 ábra



arányának növelése tehát műtrágyaszükségletet növelő tényezőként jelentkezik. Ez a jelenség könnyen magyarázható. Amennyiben csak a szántóföldi kultúrákat műtrágyázzák, a rét-legelőt alapvetően nem művelik és nem trágyázzák mint hazánkban is, akkor hasonló összefüggés várható. Az alsó- és felső-ausztriai körzetekben azonban a művelt terület részaránya 90 % feletti, a rét-legelő itt trágyázott. Tehát a területek többségében ez az összefüggés ill. indoklás az első pillanatban nem látszik természetesnek.

Valójában azonban a szántóhoz viszonyítva itt is mérsékeltebb műtrágya-igény jelentkezik. Az ásványi elemek forgalma zártabb, az állati termékekkel mint a tej, vaj, hús, gyapjú stb. sokkal kevesebb tápanyag távozik az üzemből még a kifejezett árutermelés esetén is, mint az árunövények termesztésénél. Istállótrágyával, ill. a legeltetés során az állati ürülékkel, esetleg a kívülről vásárolt erőtakarmányokkal a tápanyagok jelentős mértékben visszajutnak és pótlódnak.

Erre utalnak az állatlétszám alapján számított szerves trágya-termelés adatai is. A szerves trágyákkal bevitt tápelemek mennyiségében szintén 7-8-szoros különbségek adódtak a régiók között, hasonlóan a műtrágya felhasználáshoz. Az összes tápelemek mennyiségben azonban kiegyenlítődnek ezek az eltérések. A szerves trágya-termelés színvonala tehát kétséget kizáróan műtrágya szükségletet befolyásoló tényező, a műtrágyák iránti igényt csökkentik a szerves trágyák.

A termésekkel kivont és a trágyákkal pótolta tápanyagok egyenlegei egyes régiókban hiányról, míg másutt jelentős többletről tanúskodnak. Hiány a két első kerületben áll fenn, ahol a szántó aránya elenyésző, ahol a nem művelt és külön trágyázásban nem részesülő hegyi legelők dominálnak. A belterjes gazdálkodást folytató művelt területeken a tápelemmérleg pozitívummal zárul. A rablógazdálkodást felváltja a talajgazdagító trágyázás.

Különösen igaz ez a velünk szomszédos és természeti adottságaiban is hasonló alsó-ausztriai és burgenlandi régiókra, ahol a monokultúras gabonatermesztő gazdaságok túlsúlya, a szántó kalászosokkal való telítettsége a jellemző. Itt a pótlás 40-80 %-kal meghaladja a felvett NPK mennyiségét. A kerületekben alacsony az állatlétszám, a szerves trágyából származó NPK mennyisége mindössze 10-13 % (Eisenstadt, Günsedorf). A többlettrágyázásra való törekvés mögött a termésbiztonság igénye is meghúzódik, hiszen monokultúrában közismerten nagyobbak a termésingadozások.

A fentiekhez járul még, hogy száraz évben vagy szárazabb vidékeken a tápanyaghiány tünetek kifejezettebbek. A növények tápelemfelvételét ugyanis a talaj-oldat tápelemkoncentrációja, a talaj nedvességtartalma és a gyökérzet nagysága határozza meg. Minél szárazabb a talaj, annál hosszabbak a közbeeső diffúziós utak és annál csekélyebb a tápion szállítás. A kedvezőtlenebb csapadékviszonyok egy határig, szintén a műtrágyaigényt növelhetik. Éppen a kielégítő és harmonikus táplálás csökkenti a növény transzspirációs együtthatóját és így a vízigényét. A rosszabb szerkezetű talajon a megfelelő táplálás még inkább előtérbe kerülhet.

Összefoglalóan arra a következtetésre juthatunk, hogy a korábban gyakran hangoztatott véleményekkel ellentétben mezőgazdaságunk alacsonyabb szintű szerves trágya gazdálkodása, kedvezőtlenebb csapadékviszonyaink, talajaink le-

romlott szerkezete, valamint a földhasznosításunkban uralkodó szántóművelés monokultúrás gabonatermesztéssel párosulva (búza + kukorica) hazánk fajlagos műtrágya-szükségletét nem csökkenti, hanem inkább növelheti. Mindez azt jelenti, hogy egységnyi terméstöbblet előállításához várhatóan több műtrágyát fogunk felhasználni a jövőben is mint Nyugat-Európa, amennyiben a gazdálkodásunk módja nem változik. Korábbi vizsgálataink szerint pl. Ausztria Magyarországhoz viszonyítva mintegy 15 %-kal magasabb termésszintjét 15-20 %-kal alacsonyabb műtrágyafelhasználással érte el (Kádár 1982).

3.9 A tápelemmérlegek alapelveinek és módszereinek összefoglalása

A talaj racionális használata, termékenységének megőrzése és növelése szükségessé teszi anyagforgalmának, és pedig a növények számára fontosabb ásványi anyagok forgalmának vizsgálatát. Bár a növény szárazanyagának mindössze 5-10 %-át teszi ki az ásványi anyag, a termések nagyságát éppen ezen ásványi elemek mennyisége határozza meg a földön és a vízi ökoszisztémákban. Az atmoszférából származó CO₂, valamint a csapadékból vagy a talajból származó H₂O biztosítja a fotoszintézishez szükséges egyéb összetevők 90-95 %-át.

A tápelemmérlegek módszere együtt fejlődött az agrokémia, élettan, talajtan és más határtudományokkal. Elsőként Boussingault kísérlete meg a tápanyagforgalmat számszerűen megbecsülni Franciaországban a múlt század elején. Ezt követte Liebig Németországban, Prjanisnyikov Oroszországban, Cserhádi Magyarországon. E munkák jelezték egyben az agrokémia tudományának megalakulását és magukon viselik az elmúlt közel két évszázad nyomát, tükrözik az agrokémia mindenkorai fejlettségi színvonalát. A tápelemforgalmi vizsgálatok iránti igény ugrásszerűen nőtt az elmúlt évtizedekben részben az intenzívebb gazdálkodási rendszerekből, részben pedig a környezetvédelmi megfontolásokból adódóan. Példaképpen említhetjük az alábbi különkiadványokat, konferenciák anyagait, melyek itthon kevésbé ismertek:

- Balanszovüj metod analiza i ocenki effektivnosztyi szisztemü udobrenija. Bjulleten N.Zs. VIUA. Moszkva, 1974. (Szerk: Pannikov)
- Krugovorot i balansz pitatel'nyh vescu szstv v zemledelii. AN SzSzSzR. Puscsino, 1979. (Szerk: Peterburgszkij)
- Cycling of mineral nutrients in agricultural ecosystems. Elsevier Sci. Publ. Comp. Amsterdam-Oxford-New York, 1978. (Szerk: Frissel).
- Nutrient balances and fertilizer needs in temperate Agriculture. Int. Potash Institute. Bern. 1984. (18th Colloquium IPI)

Külön témakollektíva alakult korábban a KGST országok kutatóiból is (Kádár és Debreczeni 1983).

A mérleg felállításakor tágabb értelemben minden olyan tényezőt számba kell venni, mely a talaj tápelemkészletének növekedéséhez vagy csökkenéséhez vezet. Bevételi források, ill. a növekedés tényezői lehetnek a felhasznált műtrágyák, szerves trágyák, szabadon élő baktériumok és a pillangós növények által megkötött N mennyiségei, az atmoszférából talajba jutó terhelés, vetőmag elem-tartalma és a talajból feltáródó tápanyagok (mineralizáció).

A csökkenés vagy kiadás tételei: a növények által felvett tápanyagok mennyiségei; az erózió, kimosódás és denitrifikáció útján előálló veszteségek, valamint a talajokban végbemenő leköötődés (fixáció). A mérleg tételeinek összevetése lehetővé teszi, hogy megítéljük az anyagforgalom struktúráját, a rablógazdálkodás vagy a talajgazdagító trágyázás (esetleg a nehézfém akkumuláció, a terhelés) fokát stb.

A tápanyagmérleg egyenlege a trágyaigény becslésére is szolgál, különös tekintettel a (távlati) műtrágyaigényre, mivel a szervesztrágya-termelés általában lassan változik. A mérlegek felállíthatók globálisan, regionálisan, egy ország vagy egy üzem ill. tábla szintjén is. Az országos és regionális szintű elemzések különösen fontosak lehetnek a mezőgazdaságot irányító, műtrágyát gyártó, valamint a szaktanácsadó intézmények számára a műtrágya tervezést, elosztást, felhasználást elősegítő operatív és propaganda tevékenységükhöz. A talajtermékenységi, környezeti kutatások számára orientáló és áttekintést adó információt hordoznak.

Bár becslésről beszélünk, ez a becslés részben konkrét statisztikai adatokon és általánosan elfogadott átlagértékeken alapul, mely lehetővé teszi a tudományos igényű elemzést. Országos szinten is kontrollként szolgálhatnak a tápanyagmérlegek mellett a talajvizsgálatok eredményei. Szükséges továbbá a talajvizsgálatok ismerete a távlati trágyaigény becsléséhez, hiszen a tervezett termés tápelemigényének ismerete csupán kiindulási alap a trágyaszükséglet megítéléséhez, melyhez a tábla vagy régió talajának tápanyagállapotát is figyelembe kell venni. Így pl. a gyengén ellátott és talajgazdagító trágyázásra szoruló talajok többlet tápelemigényét hozzá kell számítani. A három fő tápelem, az N, P, K forgalmának becslésére ma már meglehetősen biztonsággal vállalkozhatunk.

A tápelemforgalom tételeinek számbavétele során a kiadás oldal becslése az alábbiak szerint történik:

- Az adott területen betakarított termés számbavétele növényfajonként, lehetőleg több év átlagával számolva;
- Az egyes növényfajok terméseit a fajlagos elemtartalmakkal megszorozva kapjuk a területről a termésekkel elvitt elemek mennyiségeit. Amennyiben saját vizsgálatokkal nem rendelkezünk, az irodalmi átlagadatokra támaszkodhatunk;
- Az erózió, kimosódás és denitrifikáció útján előálló veszteségek mértékét a gazdálkodás intenzitása, a termőhely egyéb adottságai (talajtulajdonságok, csapadékviszonyok stb.) befolyásolják. Amennyiben ezek a veszteségek jelentősek, szükségessé válhat konkrét mérésekkel is megítélni pl. az erodált talajjal távozó tápanyagok mennyiségét. Ez esetben a talaj könnyen oldható elemtartalmát vesszük figyelembe és hozzáadjuk a kiadás oldal tételeihez (10^6 kg talajban minden mg/kg tápelem 1 kg veszteséget jelent).

A kimosódás és a denitrifikáció okozta veszteség (elsősorban a N veszteség) megítélése nehézségekbe ütközhet, számbavételükhöz nem rendelkezünk elegendő megbízható adattal. Átlagos viszonyok között ugyanakkor feltételezhető és elfogadható, tekintettel az irodalmi adatokra és a nemzetközi tapasztalatokra, hogy a kimosódási és a denitrifikációs veszteségek, valamint a vetőmaggal és az atmoszférából talajba jutó tápanyagok megközelítően azonos nagyságúak és kiegyenlíthetik egymást. Így a bevétel és a kiadás oldal ezen tételei elhagyhatók, a mérleg

egyszerűbbé és áttekinthetővé válik. Megjegyzendő még, hogy ezek a tételek az összes tápelemforgalomnak általában néhány %-át jelentik és ebből adódóan kölcsönös elhanyagolásuk egyébként sem módosítja alapvetően a tápanyagforgalom megítélését.

A tápanyagmegkötéssel (fixáció) nem célszerű számolni magában a mérlegben, hiszen az ún. megkötött tápelem nem vész el, hanem a talajban marad, növelve annak nemcsak összes, hanem kisebb-nagyobb mértékben a "felvehető" elemkészletét is. Erre utalhatnak a rutin talajvizsgálatok eredményei, pozitív mérleg esetén a talaj gazdagodik és a könnyen oldható elemtartalma növekszik.

Hasonlóképpen külön tételt nem alkot a tápanyagfeltáródás (mineralizáció) a bevétel oldalon. A tényleges feltáródás ugyanis az, ami negatív egyenleg esetén a hiányt a talaj pótolja. A növényi tápelemfelvétel a talaj készleteinek rovására történik, a talaj elszegényedése árán biztosított egyfajta termésszint. A mérleg felállításának célja gyakran éppen a hiány vagy többlet, tehát a rablógazdálkodás vagy a talajgazdagító trágyázás mértékének megítélése. Utóbbiak alapján a tápanyaggazdálkodás gyakorlata módosítható, a változások előre jelezhetők.

A bevétel oldal becslése az alábbiak szerint történhet:

- A felhasznált műtrágyákkal talajba juttatott tápelemek mennyisége a táblatorzs-könyvek, statisztikai adatok alapján, átlagos kereskedelmi hatóanyag-tartalommal számolva.
- Az istállótrágya beltartalmát, amennyiben saját vizsgálataink nincsenek, az irodalomban megadott átlagértékkel vesszük figyelembe.
- A táblán maradó melléktermékek mennyiségét és átlagos összetételét szintén figyelembe vesszük. Általában a túl tág C/N arányaik miatt N forrásként azonban nem számolunk vele.
- Hasonlóan megállapítjuk az egyéb szerves trágya (hígtrágya, szennyvíziszapok, komposztok, stb.) mennyiségét. Az összetétel, saját elemzés híján, az irodalmi középértékek alapján történhet.
- A hüvelyes és pillangós növények mint N források jelentős szerepet játszhatnak a N mérlegben. A szabadon élő N-kötő mikroorganizmusokhoz hasonlóan azonban a pillangósok csak akkor kötnek meg számottevő nitrogént a levegőből, ha a környezet (talaj) felvehető ásványi N tartalomban szegény.

Hazai viszonyaink között átlagos termés esetén kb. 30-50 kg/ha/év N megkötéssel számolhatunk a pillangósoknál. Amennyiben az évelő füvekben, fűkeverékekben a pillangósok és fűfélék együtt élnek, az általuk felvett N felét hozzáadjuk a bevétel tételeihez. Vagy a kiadás oldalon a felvett (kivont) N mennyiségének felével számolunk. A pillangósok által felvett N (betakarított földfeletti termés) teljes mennyiségét általában a levegőből származtatjuk, ezért a N mérlegben gyakran nem szerepeltetjük. Célszerűbb eljárás azonban mind a kiadás, mind a bevétel tételei között szerepeltetni abból a célból, hogy képet kapjunk a pillangósok N mérleget módosító szerepéről földművelésünkben, ill. gazdálkodásunkban. A pillangósok ugyanis lehetnek N-források (amikor a hiányt fedezik negatív mérleg esetén), önellátók és N-fogyasztók is. Utóbbi eset akkor állhat elő, amikor a talaj felvehető N tartalma magas.

A bevétel és a kiadás összevonásának eredménye az egyenleg, mely megmutathatja, hogy mely elem forgalmában milyen mérvű a talaj elszegényedése vagy terhelése stb. Adatai alapján a talajvizsgálati eredményekkel kiegészítve módosítható a tápanyaggazdálkodás. Kielégítő ellátottság esetén pl. rátérhetünk a termésekkel felvett tápelemek többé-kevésbé egyszerű pótlására, gyenge ellátottságú talajon a talajgazdagító trágyázásra, ill. a már túlzottan ellátottakon a trágyázást csökkenthetjük vagy átmenetileg szüneteltethetjük.

A módszernek vannak korlátai, hibaforrásai. Sajnos a mikroelemeknél a mérleg elve nem alkalmas hasonló következtetések levonására. A fellépő hiány és túlsúly tünetek gyakran nem a talaj felvehető mikroelem tartalmával, hanem egyéb tényezőkkel vannak összefüggésben, mint pl. más elemekkel való ellátottság, időjárási tényezők, agrotechnikai beavatkozások stb. E téren a levélanalízis adhat hasznos támpontokat a talajtermékenység kontrolljában.

Összegezésként: A mérleg-módszer technikailag kétségkívül elegáns, egyszerű és olcsó, hiszen nem igényel laboratóriumot vagy különleges berendezést. Az eljárás során csak a 4 alapl műveletre van szükség: összeadás, kivonás, osztás, szorzás. Hátránya viszont, hogy nagyobb háttér-műveltséget és megbízható adatbázist igényel. A tápelemforgalom tételeinek becslésekor tisztában kell lennünk a hibaforrásokkal. A különböző szerzők által összeállított, ill. különböző szemléleteket tükröző mérlegek gyakran éppen ebből adódóan nem vethetők össze. Így pl. nálunk is készültek regionális, megyei NPK mérlegek. Sajnos azonban nem azonos igényességgel. Megemlítendő a Markó (1987) által Somogy megyére összeállított NPK mérleg, mely a tudományos elvárásoknak is eleget tett és alkalmasnak mutatkozott a megyei szintű műtrágyázás helyzetének megítélésére. Fejér megye NPK mérlegeit az 1985-1988. évekre hasonló módon Nagy (1990) állította össze.

Amint a kutatás egyre több megbízható adatot szolgáltat majd a tápelemforgalmat befolyásoló tényezők szerepét illetően, úgy e mérlegek hibaforrásai is csökkenthetők lesznek. Hosszabb időszakot azonos módon vizsgálva a változások trendjeit megfelelően jellemzik e mérlegek. A levont következtetések alátámasztásul szolgálhatnak a talajvizsgálatok, növényvizsgálatok, szabadföldi kísérletek stb., összességében az agrokémiai kutatás és szaktanácsadás többi módszere.

3.10 Irodalom

- BALLA, Ané 1958: Az istállótrágya tápanyagai érvényesülésének vizsgálata. *Agrokémia és Talajtan*. 7:233-242.
- BALLA, Ané 1967: Az istállótrágya és a műtrágyák hatásának vizsgálata különböző termőhelyeken tartamkísérletekben. In: *Trágyázási kísérletek 1955-1964*. 96-130. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- BOCZ, E. 1962: Előtanulmány a 20 éves növénytermesztési célkitűzések elérésének általános feltételeiről. *Agrártudományi Főiskola Kiadványa*. Debrecen.
- COOKE, G. W. 1958: The Nation's Plant Food Larder. *J. Sci. Food Agric.* 9:761-772.
- CSERHÁTI, S. - KOSUTÁNY, T. 1887: A trágyázás alapelvei. *Országos Gazdasági Egyesület Könyvkiadó*. Budapest.

- CSERHÁTI, S. 1900. Általános és különleges növénytermelés. Czéh Sándor-féle Könyvnyomda. Magyar-óvár.
- DEBRECZENI, I. 1978: Fontosabb szántóföldi növényeink és gyepek területeink nitrogén mérlege. Növénytermelés. 27:269-273.
- DEBRECZENI, B. 1987: A magyar mezőgazdaság NPK mérlege. Nemzetközi Mezőgazdasági Szemle. 150-153.
- DITZ, H. 1867: Die Ungarische Landwirtschaft. Verlag von Otto Wigand. Leipzig.
- ENYEDI, Gy. 1965: A föld mezőgazdasága. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- FARKAS, Á. 1942: Magyarország talajerőmérlege. Magyar Gazd. Kutató Intézet. Budapest.
- FEKETE, Z. 1965: Az angol és a magyar mezőgazdaság összehasonlítása műtrágyázási szempontból. Előszó a magyar kiadáshoz. In: Cooke, G.W. Trágyázás és jövedelmező gazdálkodás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- GERICKE, S. 1967: Nährstoffbilanzen. Landw. Forsch. 20:213-220.
- GISIGER, L. 1964: Landwirtschaft und Düngewirtschaft in Schweiz. V. Weltkongr. f. Düngungsfragen. Actes du Congres 1:1-19.
- GYÓRFFY, B. 1965: Talajtermékenység és kemizálás. Tudomány és Mezőgazdaság. 3:11-20.
- HAUSER, G. F. 1973: Guide to the calibration of soil tests for fertilizer recommendations. FAO Soil Bulletin. 18. FAO. Rome.
- ICSINHORLOO, SZ. - CSULTEMSZUREN, L. 1974: Szosztojanije i perszpektivü primenenija udobrenij v Mongolszkoj Narodjon Reszpublike. Tag-Ber. Akad. Landw.-Wiss. DDR. Berlin. 137:59-67.
- JAHRESBERICHT 1973: Österreichische Düngerberatungsstelle. Wien.
- JAQUARD, P. 1978: Agro-ecosystems in France. In: Cycling of mineral nutrients in agricultural ecosystems. 107-126. Elsevier Sci. Publ. Comp. Amsterdam-Oxford-New York.
- JOHNSON, J. W. - WELCH, L. F. - KURTZ, L. T. 1975: Environmental implications of nitrogen fixation by soybeans. J. Environ. Qual. 4:303-306.
- KÁDÁR, I. 1977a: Ausztria talajainak NPK forgalma. Agrokémia és Talajtan. 26:481-490.
- KÁDÁR, I. 1977b: Műtrágyázási tapasztalatok Ausztriában. Agrokémia és Talajtan. 26:491-497.
- KÁDÁR, I. 1979: Földművelésünk nitrogén, foszfor és kálium mérlege. Agrokémia és Talajtan. 28:527-544.
- KÁDÁR, I. 1980: A kálium jelentősége földművelésünkben és egy csernozjom talaj termékenységében. Agrokémia és Talajtan. 29:577-594.
- KÁDÁR, I. 1982: Talajművelésünk műtrágyaigényét befolyásoló néhány tényező. Növénytermelés. 31:269-280.
- KÁDÁR, I. - DEBRECZENI, B. 1983: Nemzetközi együttműködés az agrokémiai kutatásokban és a 2000-ig szóló távlati műtrágyaigény prognózisa. Agrokémia és Talajtan. 32:57-76.
- KÁDÁR, I. 1987a: Földművelésünk tápanyagforgalmáról. Növénytermelés. 36:517-526.
- KÁDÁR, I. 1989: KRITIKUSAN A MŰTRÁGYÁZÁSRÓL. MAGYAR TUDOMÁNY. 7-8:613-616.
- KEMENESY, E. 1959: Talajerőgazdálkodás. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- KOVÁCS, G. Szerk. 1984: A magyarországi I. talajvizsgálati ciklus eredményeinek értékelése. MÉM NAK kiadványa. Budapest.

- KÖSTER, W. - SEVERIN, K. - MÜHRING, D. - ZIEBELL, M.D. 1988: NPK Bilanzen landwirtschaftlich genutzten Böden der BRD von 1950-1986. LUFA Hameln Landwirtschaftskammer. Hannover.
- KRÁMER, M. 1967: A műtrágyák és az istállótrágya hatásának, illetve kölcsönhatásának vizsgálata a martonvásári tartamkísérletekben. In: Trágyázási kísérletek 1955-1964. 131-151. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- KREYBIG, L. 1951: Gyakorlati trágyázástan. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- LÁNG, G. 1960: Istállótrágya gazdálkodás a vetésváltó földművelési rendszerben. Keszthelyi Mezőgazdasági Akadémia Kiadványa. Budapest.
- MARKÓ, A. 1987: Somogy megye agrárökológiai tájegységeinek NPK mérlege. Melioráció - Öntözés és Tápanyaggazdálkodás. 2:72-79.
- MÉM NAK 1979: Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM NAK. Budapest.
- Nagy, L. 1990: Fejér megye NPK mérlege 1985-88. évekre. Diplomadolgozat. Kézirat. Pannon Agráregyetem. Keszthely.
- PETERBURGSZKI, A.V. 1968: O balansze azota, foszfora i kalija v zemledelii. SzSzSzR Izv. AN SzSzSzR. Szer. Biol. 5:637-648. PRJANISNYIKOV, D. N. 1934: Agrohimiya. (Vvedenie). Szelhozgiz. Moszkva.
- PRJANISNYIKOV, D. N. 1945: Azot v zemledelii SzSzSzR. In: Popularnaja Agrohimiya. Izd. Nauka. Moszkva. 1965.
- SARKADI, J. - BÁNÓ, T. 1967: Szerves- és műtrágyák hatásának vizsgálata tartamkísérletekben. In: Trágyázási Kísérletek. 1955-1964. 74-95. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- SARKADI, J. 1975: A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- SARKADI, J. 1979: Az intenzív tápanyagellátás hatása a talaj termékenységre. In: Az intenzív műtrágyázás hatása a talaj termékenységre. MTA TAKI. Ankét.
- SZOKOLOV, A.V. 1963: Ocserednue zadacsi izucsenija plodorodija pocsv i putyej ego povüsenija. Pocsvoledenije. 1:8-20.
- TÓTH, T. - KUZMIÁK, M. 1949: A magyar talajerőgazdálkodás helyzete és jövője a tervgazdaságban. Agrártudomány. 1:65-85.
- TRÁGYÁZÁSI ANKÉT 1963: Szerves- és műtrágyák korszerű alkalmazása a szocialista nagyüzemekben. MTA Agrártudományi Osztály Közleményei. 22:408-476.
- VÁRALLYAY, GY. 1954: Az egyszerű talajvizsgálatoktól az üzemi talajtérképezésig. Agrokémia és Talajtan. 3:289-298.
- WAGNER, P. 1926: Anwendung künstlicher Düngemittel. Paul Parey. Berlin.
- WELCH, L.F. 1972: More nutrients are added to soil than are hauled away in crops. Illinois Res. Illinois Agric. Exp. Station. 14:3-4.
- ZUKKER, F. 1938: Mezőgazdaságunk nitrogén, foszfor és kálium mérlege. Mezőgazdasági Közlöny. 11:10-16.
- YATAZAWA, M. 1978: Agro-ecosystems in Japan. In: Cycling of mineral nutrients in agricultural eco-systems. 167-179. Elsevier Sci. Publ. Com. Amsterdam-Oxford-New York.

4. A SZABADFÖLDI KÍSÉRLETEZÉS ALAPELVEI ÉS MÓDSZERE

"A kísérletekre annál inkább szükség van, minél előbbre haladtunk a megismerésben."

Amióta az ember földműveléssel foglalkozik, megfigyeléseket végez és adatokat gyűjt. Hosszú évezredek át az empirikus megfigyelés és tapasztalat volt az agronómiai ismeretek forrása. Ismereteink szerint az 1700-as évek közepe előtt modern értelemben vett tudományos kutatás nem létezett. A mezőgazdasági kutatások valójában egy évszázaddal később, a XIX. sz. közepétől intézményesülnek. Az 1800-as évek elejéig még nem jöttek létre a mezőgazdasági kísérleti állomások, sem a mai értelemben vett, a szigorúbb követelményeknek megfelelő mezőgazdasági főiskolák. Ennek nem mond ellent az a tény, hogy egy-egy nagybirtokos esetleg létrehozott saját szakiskolát, intézőképzőt (lásd pl. Georgikon Magyarországon).

A mezőgazdasággal foglalkozó szakkönyvekben gyakran annyi volt a spekuláció, mint a józan gyakorlati útmutatás. Az újabb eljárásokat az üzemek úgy vezették be, hogy hiányzott az egzakt összehasonlítást lehetővé tevő kontroll. A siker vagy a kudarc okairól általában nem tudtak tiszta képet alkotni. Az okozati ismeretek nélküli, a helyi körülményeket figyelmen kívül hagyó próbálkozások lassan szilárdították meg a helyes és általánosítható ismereteket. A haladás valójában kétségbeejtően lassú, fáradságos és kudarccal teli volt, mert vakon történt.

A haladás története, nyugodtan állíthatjuk, a tévedések története is volt. Az ókor gondolkodói valóban rendszerezték a megfigyeléseket és sok hasznos ismeretet halmoztak fel. A kísérletezés módszeréről azonban alig volt elképzelésük. Ezért alakulhatott ki a tekintélyelv, mely évezredek át nagy károkat okozott. És okozott vagy okozhatott az újkorban, napjainkban is (lásd pl. Lisenko-tan). A kísérlet, amennyiben objektív, megóv a hibáktól. A fejlődés a múlt század közepétől gyorsult, amióta kísérletezünk. A mezőgazdasági kutatás eredményei döntően járultak hozzá a civilizáció alapjainak bővüléséhez és a tudományos kutatás a fejlődés motorjává vált általánosan is.

A talaj trágyaszükségletének és termékenységének vizsgálatában a szabadföldi kísérletek alapvetőek. Az agrokémiai és növény táplálási ismereteink jelentős része, melyek a talaj-növény rendszerre vonatkoznak, a szabadföldi kísérletekkel kapcsolatosak. Az agronómia és az agrokémia klasszikusainak munkái gyakran összefonódnak a szabadföldi kísérletekkel: Boussingault, Lawes és Gilbert, Kühn, Kristensen, Wagner, Engelhardt, Mendelev, Prjanisnyikov, Cserhádi stb. A szabadföldi kísérletek történetét, módszertanát és az adatok statisztikai értékelését olyan munkákban kísérhetjük nyomon, mint Lemmermann (1925), Mitscherlich (1929, 1930), Roemer (1930), Snedecor (1948), Cochran és Cox (1950), Fisher (1951), Mudra (1952), Baule (1953), Scserba (1954), Bergmann (1958) stb.

4.1. A szabadföldi kísérletek kialakulása és az agronómiai tudomány

A tudományos problémák kísérleti úton történő megválaszolásának alapelve tulajdonképpen a középkort követően egyre elfogadottabbá válik. A növényi élettan korai klasszikusai a vízkultúrát, tenyésztedény-kultúrát alkalmazzák abból a célból, hogy a növényi növekedés alapelveit, az ún. "principiumait" tisztázzák. Gyakran vallják, hogy az "egyetlen út az igazsághoz a megfigyelés". Ezek közé tartozott Bacon (1561-1624), Helmont (1577-1644), Glauber (1604-1668), Boyle (1627-1691). Az ekkor alkalmazott kísérleti technika még meglehetősen durva volt és az eljárást nem neveznénk tudományos kutatásnak. Amint korábban már említettük, Helmont pl. 5 éven át fűzfát nevelt 90 kg tömegű talajban, melyhez csak vizet adott. Arra a következtetésre jutott, hogy a növények egyedüli tápláléka a víz, mert a 60 g talajtömeg csökkenését tévesen kísérleti hibának minősítette. Valójában a fűzfa növekedése során ásványi anyagokat használt fel a talajból, ill. épített be a testébe.

Ingenhouss (1730-1799) később kimutatta, hogy a levegő "megtisztulása", azaz széndioxid tartalmának csökkenése fény jelenlétében megy végbe. Senebier (1742-1809) pedig kijelentette, hogy Helmont fűzfájának súlygyarapodása döntően a levegőből származott. A legtöbb új felfedezés a kémia, fizika, élettan terén történik az 1700-as évek végén, melyek lassan tisztázzák a növényi élet működését. Ezeknek az ismereteknek még alig volt kihatásuk a mezőgazdaságra. Az 1800-as évek elejével azonban minőségi változás történik. A felhalmozott tudást precízebb technikával kísérő vizsgálatokkal bővítik ki és De Saussure (1765-1845) már képes átfogó elméletet adni, kísérletesen bizonyítva a légzés és a fotoszintézis mechanizmusát. Igazolta, hogy a szén a levegőből, míg a növények hamuja és nitrógenje a talajból származik. Ezek az ismeretek már érintették a mezőgazdaságot és rövidesen megkezdődött alkalmazásuk az agronómiában. A hamuelemezésekkel pl. azt is megállapították, hogy a növényi alkotórészek minden eleme a humuszban is megtalálható.

Boussingault (1802-1882) az első, valóban kísérleti állomásnak nevezhető intézményt hozza létre 1834-ben a francia Elzászban. Szántóföldi kísérleteit, melyek a trágyázás és a vetésforgó kérdéseire vonatkoztak, gondosan megtervezte. Ezenfelül saját gazdaságában laboratóriumot is állított fel. Lemérte és analizálta a parcellákra adagolt trágyákat és az onnan betakarított terményeket, tápelemmérlegeket felállítva. Elsőként bizonyította, hogy a pillangósok a levegőből nitrogént képesek felvenni. Azonban még Boussingault sem a mai értelemben vett ismétléses kisparscellás kísérleti technikát alkalmazta. Ez a technika tulajdonképpen egy hosszú fejlődés eredménye, mely általánosan elfogadottá csak a XX. század elején vált. Mégis Őt tekintjük a szabadföldi kísérletezés atyjának, mert:

- A szabadföldi kísérletezést összekapcsolta a talaj- és növényvizsgálatokkal és bevezette a tápelemmérlegeket. Ezzel a szabadföldi kísérletezést tudományos módszerré avatta.
- Vizsgálatait tartamjelleggel végezte. Felismerte, hogy az agronómiai és a talajtermékenységi kutatásokban az időtényező szerepe meghatározó, tudományos eredmények csak sokéves vizsgálatokból szűrhetők le.

Liebig (1803-1873) ugyan nem végzett szabadföldi kísérleteket, de döntő befolyással volt azok elterjedésére. Szintetizálta kora tudományos eredményeit (kémia, élettan) és az agrártudományt alkalmazott természettudománnyá avatta. A mezőgazdaság Liebig előtt vagy Liebig után olyan vízvázlatot jelöl, mint a keresztény világban a Krisztus előtti vagy utáni időszámítás - jegyzi meg Salmon és Hanson (1970). Liebig (1840) újszerű nézetei nagy vitákat váltottak ki. Követői és ellenfelei egyaránt igyekeztek kísérletekkel igazolni álláspontjukat. Liebig Giessenben laboratóriumot létesített és oktatott, felhívta a figyelmet a mezőgazdasági kutatások fontosságára.

A Rothamstedi Kísérleti Állomás pl. London mellett 1843-ban létesült Lawes (1814-1900) birtokán. A kísérleti munkák irányítását Liebig egyik tanítványa, Gilbert (1817-1901) végezte. Az 1843-1856. között beállított 9 tartamkísérletből 8 többé-kevésbé változatlan formában ma is folyik "Rothamsted Classical Experiments" néven (Guide 1984). A Rothamstedi Kutató Központ ma is az agrokémikusok Mekkája, az agrokémiai-talajtermékenységi ismereteink egyik jelentős forrása. Az itt beállított kísérletek még nem a kisparcellás ismétléses technikát jelentették, hanem a Boussingault által Franciaországban kidolgozott mintára épültek. Az állomás megalapítása után 12 évvel Lawes és Gilbert az alábbi fontos következtetésre jutott (Tisdale és Nelson 1966):

1. A gazdasági növényeknek szükségük van foszforra és káliumra, de a növényi hamu összetétele nem kritériuma a növény által igényelt mennyiségnek, mint ahogy azt Liebig mechanikusan feltételezte. (Tehát a tápelemigény és a trágyaigény nem ugyanaz.)
2. A légköri ammónia-N nem képes fedezni a nem pillangós növények N igényét, mint ahogy azt Liebig vélte. A pillangós forgók többlet N-je a levegőből származik, ahogyan azt Boussingault is bizonyította. (A hogyanra ekkor még nem kapunk választ, hiszen a gyökérgümők és a bennük élő N-kötő baktériumok tevékenysége nem ismert.)
3. Az ugarolás kedvező hatása gyakran éppen a talajban lévő N-vegyületek felhalmozódásában rejlik, a humuszanyagok ásványosodása következtében. Liebig (PK) és Boussingault (N) gondolatát egyesíteni kell.
4. A talajok termékenysége fenntartható pusztán műtrágyákkal.

Utóbbi megállapítást sokan még ma is vitatják. Az ásványi teória azonban véglegesen győzedelmeskedett. A kémia és az élettan (elmélet) eredményei megtermékenyítették az agronómiát (gyakorlat), most már nem válik el az elmélet és a gyakorlat. Közben Boussingault is közölte trágyázási kísérleteinek újabb eredményeit 1854-ben, megerősítve a rothamstedi kísérletek tanulságait. A hitelesség érdekében meg kell jegyeznünk, hogy Liebig előtt mások is felvetették az államilag fenntartandó szabadföldi kísérletek fontosságát. Haselhoff idézi Thaer-t (Cit. in: Deller 1988): "Ilyen kísérletek nagy számban való beállítása az egyes ember erejét meghaladja, ezért az állam dolga lenne felnőtt férfiakat olyan helyzetbe hozni, hogy idejüket és tehetségüket teljesen a természet kutatásának szentelhesék, ezzel a mezőgazdaság és az általános jólét javát szolgálják."

Németországban az első mezőgazdasági kísérleti állomás 1851-ben létesült Lipcse mellett, Möckernben. Nobbe szerint (Cit. in: Deller 1988) alig 15 évvel

később már 21 kísérleti állomás működött Németországban. Természettudomány-történeti fontossággal bír, hogy a kísérletek eredményeit rendszeresen és intézményesen megvitatták az akkori szakemberek. A véleménycserét szolgálta az 1858-ban megalapított "Die landwirtschaftliche Versuchsstationen" folyóirat, valamint a vándorgyűlések. Az első vándorgyűlést 1863-ban szervezték Lipcsében. Wolff (1864) összeállította a talajvizsgálatok módszereit, azokat a kémiai és fizikai laboratóriumi eljárásokat, amelyeket alapjaiban ma is használunk.

Az Egyesült Államokban 1875-ben létesül az első ilyen intézmény, a Connecticuti Mezőgazdasági Kísérleti Állomás Liebig egyik tanítványa, Samuel W. Johnson vezetésével. A kutatás és a szakoktatás állami feladattá válását korábban már jelzi az 1862-ben a Kongresszus által elfogadott Morrill-Törvény a mezőgazdasági főiskolák alapításáról. Majd ugyanezen évben az USDA (USA Mezőgazdasági Minisztériuma) megszervezése és végül 1887-ben az egyetemek mellett működő mezőgazdasági kísérleti állomások hálózatának létrehozása (Hatch-Törvény). Az állami egyetemi rendszer tovább bővül 1914-ben a szaktanácsadást és a felnőtt továbbképzést ellátó Cooperative Extension Service intézményével. Az egyetemek a kutatás-oktatás-szaktanácsadás hármas funkcióját ellátva mindhárom tevékenységükben támaszkodnak a szabadföldi kísérletezésre (Kádár 1985).

Klecskovszkij és Peterburgszkij (1964) szerint Mengyelejev, a periódusos rendszer megalkotója vezette azt a nagy műtrágyázási akciót, amelynek során minden akkor ismert fontos műtrágyát kipróbáltak Oroszországban 1867-1869 között. A szabadföldi kísérletek a moszkvai, peterburgszki, szimbirszi és a szmolenszki kormányzóságban folytak egységes metodikával. Az analízisek kiterjedtek nemcsak a műtrágyák, hanem a talaj és a termés vizsgálatára is. A kísérleti adatokat talán elsőként a világon, statisztikai próbáknak is alávetették. A kollektíva tagja volt Timirjazev (1843-1920) is, akinek tanítványa Prjanisnyikov (1865-1948) folytatta és megalapozta a később kiterjedt kísérleti munkát.

Érdemes megemlíteni, hogy ekkor ismerte fel az orosz agronómia-agrokémia a trágyák hatásában a zonalitás jelenségét. Az istállótrágya mindenütt hatásosnak mutatkozott, míg a P főként a csernozjomokon, a N és a mésztrágya pedig a podzolokon. A káliumot elsősorban a gyökérgumósok és a pillangós fűfélék hálálták meg. Mengyelejev arra a következtetésre jutott, hogy "...szinte minden talaj alkalmassá tehető a kultúrnövények termesztésére és termékenysége növelhető trágyázással, mert ezzel a talaj hiányosságait pótoljuk. A nálunk szokásos termések nemcsak könnyen megduplázhatók ily módon, hanem három- és négyszeresére is növelhetők." (In: Klecskovszkij és Peterburgszkij 1964).

4.2 Szabadföldi kísérletek és a hazai agronómiai-agrokémiai iskola

A rövid nemzetközi áttekintés után lássuk, mi volt a helyzet itthon. A kémia történetét elemezve Magyarországon Szabadváry és Szőkefalvi (1972) kiemeli, hogy a porosztas fejlődés mellett ipari kutatás alig van a múlt század második felében. Ugyanakkor jól kiépített állami kutatóintézeti hálózat működik, melynek egyetlen ága a mezőgazdaság. A kutatás eredménye szinte kizárólag a nagy-

birtoknak jelentett hasznot. A nagybirtokosok a nemzetközi piacon való versenyképességhez szükséges tudományos kutatás költségeit az államra hárították át. Ez a körülmény elsősorban a mezőgazdasági kémia fejlődésére hatott üdvösen.

A hazai tudományos igényű talajtermékenységi (agrokémiai-növénytaplálási) kutatások ismertetését a Cserhádi iskola munkásságával kell kezdenünk. Cserhádi és Kosutány (1887) legátfogóbban a Trágyázás alapelvei, valamint a Növénytermelés (Cserhádi 1900) című könyveikben foglalják össze a növénytaplálás terén elért elméleti és gyakorlati eredményeket, a hazai trágyázási kísérletek tapasztalatait a múlt század végén. Az előzőekben erre már utalás történt.

Szerintük a talaj tápanyagai nyers vagy összes, és kész vagy felvehető állapotúak. Az összes tápanyag a talajgazdagságot, míg a felvehető a talajerőt jelenti. A talajerőtől függ a termés nagysága és állandósága, melyet trágyázással, és főként a talajhumusz megfelelő mállási sebességének biztosításával (műveléssel, ugarolással) tartunk fenn. A talajok tápanyagállapotáról szabadföldi kísérletek útján tájékozódhatunk. A talajelemzés arra válaszolhat, írják, hogy egy adott tápelem a talajban előfordul-e vagy sem. Mennyi valójában a felvehető, ill. mennyi fog feltárulni, arra csak a növény válaszolhat.

Cserhádi szkepticizmusa érthető. Az akkori talajelemzési eljárások zöme viszonylag tömény savakat és lúgokat használ oldószerül, melyekkel inkább a talaj "nyers" tápelemkészletéről tájékozódhatunk, semmint a "talajerőről". Nem állott rendelkezésre az az ismeretanyag a talajról és a növényről, amely lehetővé tette volna a talajvizsgálati és a termésadatok közötti érdemleges összefüggések feltárását, vagyis a talajvizsgálati adatok kalibrálását.

A növényelemzés hatékony alkalmazásához nem tisztázódtak még a növényi tápelemfelvétel mechanizmusai, melyek alapul szolgálhattak volna a megfelelő mintavételi eljárások és ellátottsági határkoncentrációk kidolgozásához stb. Több mint fél évszázadra volt szükség ahhoz, hogy a kutatás eme hiányosságokat pótolja és a gyakorlatban is használható módszertant ajánlhasson. Az említett tényezők hozzájárultak ahhoz, hogy a figyelem középpontjában a szabadföldi kísérletek állottak.

A kísérletek célja általában a trágyahatás (termés) mérése, tehát az egyéb termésbefolyásoló tényezőket azonos szinten kell tartani. Az időjárás is befolyásolja a trágyahatásokat, ezért az egyéves kísérlet nem kísérlet - írja Cserhádi. A szabadföldi kísérletek alatt nem a mai értelemben vett ismétléses kisparcellás kísérleteket értik, hanem a minimum 0.5 kh területű üzemi parcellákat, ahol már "azonos feltételeket tudunk biztosítani" a vetőmag minősége, a vetés sűrűsége, talaj stb. tekintetében. Tehát valójában üzemi próbákról volt szó.

A tenyészedény- és kisparcellás kísérlet véleményük szerint az alapkutatást szolgálja, de az adatokat a gyakorlatba átvinni és a terméseket hektárra átszámítani "szédelgés". Ami a tenyészedényeket illeti, ez a megállapítás ma is elfogadható, a jól tervezett és helyesen végrehajtott kisparcellás kísérletekre azonban nem tekinthető helytállónak. Utóbbiak technikája ma már egzakt tudományos alapon áll, módszertana kidolgozott. A kézi vetés, művelés helyét a gépi agrotechnika vette át, mely azonos körülményeket biztosít az egész kísérleten belül. A talaj mikroheterogenitását vagy szisztematikus változását (lejtő) elrendezési terveink és mintavételi módszereink figyelembe veszik. Statisztikai becslési eljárásaink

alkalmasak arra, hogy megítéljük a véletlen (hiba) nagyságát és a kezelések közötti különbségek megbízhatóságát.

A két világháború között a 30-as évek elején indult az első nagyszabású, már talajvizsgálatokkal is összekapcsolt műtrágyázási akció hazánkban. Rossz maradt azonban a kísérleti technika. Továbbra is viszonylag nagy méretű parcellákkal dolgoztak, így a talaj homogenitása egy kísérleten belül gyakran nem volt elérhető. A kísérleteket évente más-más helyen állították be, illetve csak egy évig folytatták. Érdemi trágyahatásokat nem tudtak regisztrálni. Az eredménytelenség okainak feltárása azonban lehetővé tette a továbblépést, az elvi és módszertani tisztázatlanságok felszámolását.

A tapasztalatokon okulva a 30-as évek végétől id. Várallyay (1950, 1954) saját kezdeményezéséből 125 kísérletet indít az ország különböző tájain, eltérő talajokon. Ezek a kísérletek már ismétléses, kisparcellás, statisztikailag értékelhető kísérletek voltak. A kezelések az egyszerűsített klasszikus tápelemhiány-kísérletek kezeléseit: trágyázatlan kontroll, N, P, K, NP, NPK. A műtrágyaadagok átszámítva hektárra 40 kg körüli N, 60 kg P_2O_5 és 80 kg K_2O mennyiséget jelentettek. A termőhelyek jellemzésére szolgáló talajmintavétel sorozatonként 1-1 átlagmintával történik, a műtrágyahatásokat pedig forgóban vizsgálta több éven át egy helyen.

A műtrágyahatásokat elemezve megállapítást nyert (4.1 táblázat), hogy az átlagos P-hatás csekély, mintegy 8 % a 125 kísérlet átlagában. Egyes talajokon ez a hatás 12-14 %-ra emelkedett (Duna öntés, mezősegi vályog). Ha a típuson belül tovább finomított az ellátottsági határértékek szerint, akkor a P-hatások 17-21 %-ra emelkedtek, melyek már igen gazdaságossá tették a P-műtrágyázást. A növényfaj figyelembevételével a hatás tovább nőtt. A kalászosok reagáltak a legkifejezettebben a trágyázásra, ezt követte a burgonya, míg a kukorica kevésbé mutatkozott P-igényesnek.

A K-hatásoknál hasonló törvényszerűséget figyelhetünk meg. Az átlagos hatás mindössze 8 % körüli volt. Talajtípusok szerint csoportosítva elérte a 16 %-ot, míg azon belül az ellátottságát is figyelembe véve a termések 28 %-kal emelkedtek. Itt is fontosnak mutatkozott a növény trágyareakciója. Míg az átlagos hatás a kalászosoknál 5 % körüli, addig pl. a burgonyánál 12 % volt. Ebből kiindulva Várallyay külön talajvizsgálati határértékeket állapított meg a kalászosokra, amely koncentráció alatt trágyahatás valószínű (75 ppm DL- K_2O) és külön a kapásokra (150 ppm DL- K_2O).

A N átlaghatásai viszonylag nagyok voltak (17 %), a N alkalmazása tehát még akkor is igen gazdaságos lehet, ha az sablonosan történik. "Nem a szuperfoszfát a magyar föld műtrágyája, hanem a pétisó" - állapították meg a kísérletet végzők, hiszen még a pillangós elővetemények után is gyakran jelentős N hatásokat kaptak (4.1 táblázat). A DL-PK határértékeket a 4.2 táblázat foglalja össze.

Az 50-es évek második felében ill. a 60-as években beállított szabadföldi kísérletek egy részében a műtrágyák és az istállótrágya hatását hasonlították össze. Ezek a kísérletek a gyakorlat által felvetett egyik fontos kérdésre adtak pozitív választ. Különböző talajokon és vetésforgókban igazolták, hogy istállótrágyázás nélkül, csak műtrágyákkal is növelhető ill. tartósan megőrizhető a talaj

termékenysége. A műtrágyák termésmenővelő hatása nemcsak elérheti, hanem a műtrágya-N jobb hasznosulása miatt meg is haladhatja az azonos tápelem-tartalommal rendelkező istállótrágya hatását.

4.1 táblázat: A műtrágyahatások elemzése Várallyay (1950) kísérleteiben

Talajtípus	P-hatás %-ban		K-hatás %-ban		N-hatás %-ban
	Átlagos	H.É.A.	Átlagos	H.É.A.	Átlagos
Savanyú erdő	7	19	7	9	21
Savanyú homok	13	14	12	14	26
Duna öntés	12	17	16	28	13
Meszes homok	13	14	12	14	26
Mezőségi vályog	14	21	4	4	9
Átlagosan	8	15-20	8	10-20	17

Átlagos = típusok átlagai

H.É.A. = típuson belül a kielégítő ellátottsági határérték alatt

4.2 táblázat: A talajvizsgálati adatok értelmezése Várallyay (1954) szerint

Talajtípus	Kísérletek száma	Kielégítő ellátottság, ppm			Érlelés 20 ppm P-ból DL-oldható, ppm
		DL-P ₂ O ₅ Általában	DL-K ₂ O Kalászos	Kapás	
Savanyú erdő	35	40	75	150	4
Savanyú homok	13	60	75	150	5
Duna öntés	20	60	75	150	8
Meszes homok	3	100	75	150	12
Mezőségi vályog	19	120	75	150	10

A szabadföldi kísérletek nagyobbik részében, az említett istállótrágya és műtrágya összehasonlító kísérletekben is a főcél az optimális műtrágyaadag meghatározása volt, tehát a műtrágyaigény becslése. A különböző tájakon, talajokon beállított adag-arány kísérletek általában a klasszikus tápelemhiány sémával, 3-6 ismétlésben folytak. Eltérő növényi sorrend mellett tartamjelleggel vizsgálták a trágyázás hatását, hogy az időjárás és a növényváltás műtrágyaszükségletet módosító hatását is megbecsüljék és stabil, megbízható receptúrákat adjanak tájra, talajra, növényre. E munkákat jól reprezentálja a "Trágyázási Kísérletek 1955-1964" c. kiadvány. (Szerk. Sarkadi 1967)

Az említett kísérletek alapvetően nem azt a célt szolgálták, hogy a talajvizsgálati vagy a növényelemzési adatokat teszteljék és kalibrálják mint Várallyay kísérletei, hanem közvetlenül trágyaigényt határozzanak meg. A megállapított optimumok kezdetben felhasználható irányszámokat adtak a gyakorlatnak tájra, növényre, esetleg talajtípusra finomítva. Hangsúlyozni kell,

hogy csupán az átlagos trágyaigény becslésében. Nem adhattak azonban táblaszintű, konkrét szaktanácsot.

A 60-as évekkel a helyzet fokozatosan megváltozott. Az intenzív műtrágyázásra való áttéréssel átalakult a táblák tápanyagállapota, heterogénebbé váltak. Egyazon tájon, talajtípuson és üzemben belül is előfordulhatnak igen alacsony ellátottságú és termékenységes táblák, valamint tápanyaggal igen jól ellátott táblák az eltérő műtrágyázási gyakorlat, tehát a trágyázási múlt függvényében. Az adag-arány kísérletek műtrágyaigényt becselő informatív jellege fokozatosan csökkent. Eredményeik egyre kevésbé voltak általánosíthatók tájra és talajra. Ma már nem állíthatjuk, hogy pl. "...a dunántúli mezőségi vályog talajokon" nagyok a P-hatások. Melyik mezőségi vályogról van szó? Ahol a felvehető P-tartalom, az $AL-P_2O_5$ 40-50 ppm, vagy ahol 400-500 ppm? A 80-as években végzett vizsgálatok szerint pl. a Fejér megyei talajok 2/3-a már "jól" ellátott volt P-ral (Nagy 1990), így nagy valószínűséggel direkt P-hatásokat sem várhattak ezen a talajon.

A típust mint eltérő talajtulajdonságok hordozóját (pH, mészállapot, kötöttség, humusztartalom stb.) a tápelemellátottsági határkoncentrációk kialakításában figyelembe vehetjük, amennyiben a talajtulajdonságok határértékeket módosító befolyását kísérleteinkben előzőleg megismertük. A korábban beállított adag-arány tartamkísérletek egy részét sikerült megőrizni az alap kutatás számára. Mint klasszikus hiánykísérletek napjainkban felbecsülhetetlenül fontos adatokat szolgáltatnak a tartós műtrágyázásnak a talajra és növényre gyakorolt hatásáról (4.3 és 4.4 táblázat).

A 4.3 táblázatban példaképpen bemutatott kísérletet 1963-ban állította be Láng (1973) a Nyírlugosi Állami Gazdaság területén. A parcellák talajának reakció- és tápanyagállapotát a 4.3 táblázat adatain tanulmányozhatjuk 21 éves műtrágyázást követően. Főbb tanulságok a következőkben foglalhatók össze:

1. A kiindulási talaj pH értéke műtrágyázással tovább süllyedt, míg a mérsékelt meszezéssel ellensúlyozhattuk a talaj elsavanyodását.
2. A meszezés és a dolomitporos Mg trágyázás együttesen a pH értékét 5.5-6.0-ra emelte, tehát melioratív beavatkozásnak minősült.
3. Az AL-módszerrel meghatározott PK tartalom átlagosan megduplázódott a PK műtrágyázás nyomán és így az eredetileg "gyengén" ellátottnak minősült talaj "megfelelő" vagy "kielégítő" ellátottsági kategóriába jutott.
4. Az EDTA-oldható Mn-tartalom bizonyíthatóan emelkedett az egyoldalúan N-nel túltrágyázott igen savanyú parcellákon.

Amint a 4.4 táblázatban látható, a meszezett és kiegyensúlyozottan táplált talajon a napraforgó jobban kelt (nőtt a tőszám), nőtt a növény magassága, a tányérok átmérője és a tányérfelület, valamint a kaszatsűrűség is a tányérban. A savanyú és tápanyagszegény talajon a kevés és kis méretű tányérban sok volt az üres, léha szem, valamint a Sclerotiniával fertőzött növény is.

4.3 táblázat: A talaj pH értékének, humusz- és tápanyagtartalmának alakulása a kísérlet 21. évében. Savanyú homok barna erdőtalaj szántott rétege. Nyírlugosi Állami Gazdaság, 1983.

Kezelés	pH(KCl)	Humusz %	<u>AL-P₂O₅</u>	<u>AL-K₂O</u>	<u>EDTA-Mn</u>
mg/kg talajban					
Kontroll	4.6	0.52	66	70	56
N	3.9	0.40	78	100	97
NP	3.9	0.51	140	110	74
NK	3.8	0.50	80	130	71
NPK	3.9	0.51	142	132	64
NPKCa	4.8	0.50	160	150	53
NPKMg	4.6	0.45	140	140	60
NPKCaMg	5.9	0.50	170	132	68
SzD5%	0.8	0.15	35	32	28

Megjegyzés: N=120 kg N, P=120 kg P₂O₅, K=120 kg K₂O, Ca=100-200 kg Ca, Mg=40-60 kg Mg adagot jelentett évente és ha-onként

4.4 táblázat: Műtrágyázás hatása a napraforgó hozamára és minőségére. Savanyú homok barna erdőtalaj, Nyírlugos, 1984. (Kádár és Vass 1988)

Kezelés	Tőszám db/parc.	Magasság cm	Tányér- átm. cm	Kaszat kg/ha	Olaj %	<u>Olajhozam</u>	
						kg/ha	%
Kontroll	68	92	11.1	750	44.9	336	100
N	60	60	10.9	640	41.9	268	80
NP	69	75	11.2	947	42.4	402	120
NK	69	74	11.3	763	41.2	314	93
NPK	73	110	13.4	1430	43.8	626	186
NPKCa	75	141	15.4	1847	44.8	827	246
NPKMg	80	140	15.0	2270	45.3	1028	302
NPKCaMg	82	157	16.3	2645	45.6	1206	359
SzD5%	8	35	2.4	540	2.2	217	65

Az évi 120 kg/ha N műtrágyázás önmagában nem növelte a hozamot, sőt az NP és NK trágyázás sem bizonyult eredményesnek. Az együttes NPK trágyázás a kaszatterméseket közel megduplázta, az évi 200 kg/ha Ca hozzáadása 2.5-szeresére, míg az évi átlagosan 60 kg/ha Mg+NPK háromszorosára növelte a hozamot. Az öt vizsgált, hiányzó tápelemet együttesen adagolva mind a kaszat-, mind az olajhozamokat 3.5-szeresére növelhettük. Gazdaságossá tehető tehát e növény termesztése a nyírségi szegény talajon is, amennyiben a talaj tápelemellátottságát (P, K, Mg) megfelelő szintre emeljük, biztosítjuk a 6 körüli pH(KCl) érték fenntartását meszezéssel, valamint a kielégítő N ellátást.

4.3 Újabb szemléletek a szabadföldi kísérletezésben

A 60-as években beállított NPK adag-arány kísérletek más részét úgy alakították át, hogy egy kísérleten belül vizsgálható legyen a "régi" és az "új" vagy frissen adott műtrágyák hatása. Ilyen módon megvizsgálható a P műtrágya talajban történő átalakulása, értéksökkenése. Technikailag ez azt jelenti, hogy az eltérő trágyázási múlttal rendelkező parcellákon új hatásgörbét építünk. A kísérlet az adott ill. vizsgált elemre kalibrációs kísérletté alakul át (Sarkadi és Kádár 1974, Kádár 1974, Cserni 1982).

Az említett kísérlettípus néhány eredményét, információs teljesítményét a 4.5 - 4.8 táblázatban mutatjuk be egy 12 éves tartamkísérlet utolsó 4 évének példáján. A kísérlet első 4 évében kukoricát (Latkovicsné 1967), második ciklusában búzát (Krámer, In: Kádár 1978) termesztettek. A 8. év végén az NK kezeléseket megszüntettük és a P hatások precízebb összehasonlítása céljából búza monokultúrában folytattuk a régi és az új P hatásának összehasonlítását. A 8 éven át nem trágyázott és az évi 60 kg/ha P₂O₅ adaggal trágyázott parcellák P mérlegében közel 400 kg/ha P₂O₅ különbség adódott (4.5 táblázat).

4.5 táblázat: A kísérlet első két ciklusának összevont eredményei (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1961-1969)

Adott P ₂ O ₅ kg/ha	Szemtermés t/ha/4 év		Kivont P ₂ O ₅ kg/ha	P ₂ O ₅ mérleg kg/ha	AL-P ₂ O ₅ mg/kg
8 év alatt	kukorica 1962-65	búza 1966-69	8 év alatt	1969 őszén,	(8. év végén)
0	14.5	7.5	145	-145	60
240	15.3	11.1	205	35	70
480	15.5	12.1	238	242	93

A kísérlet 3. ciklusában, 9-12. évében a régi P-szintekre 0, 40, 80, 120 kg/ha/év P₂O₅ adagokkal új P-hatásgörbét húztunk. Az alaptrágyázás egységesen az egész kísérletben N = 100, K₂O = 100 kg/ha/év volt.

Évente és parcellánként vizsgáltuk a szántott réteg AL-oldható P-tartalmának alakulását, felhalmozását, dinamikáját (4.6 táblázat). A talaj P-ellátottsága függvényében nőtt a búza termése (4.7 táblázat). A talajvizsgálati adatok és a termésszintek közötti összefüggés egy kísérleten belül igen szorosnak mutatkozott. A kísérlet főbb tanulságait a következőkben foglaljuk össze:

1. A talaj termékenységének fontos eleme a felvehető P tartalom szintje. A trágyázásnak nemcsak a tápanyagellátottság egyszerű fenntartását, hanem bővített újratermelését, ill. a talajtermékenység növelését is szem előtt kell tartania gyengén ellátott terméketlen talajon.
2. A P trágyázás hatékonysága, azaz az 1 kg hatóanyagra jutó szemterméstöbblet a trágyázási múlt, ill. a talaj P ellátottságának függvénye.
3. A talajban maradt régi P hatékonysága mintegy 50-70 %-át tette ki a frissen adott P-ének azonos P mérleg tartományban. A műtrágya P előregedésével, értékcsökkenésével számolnunk kell.
4. A műtrágyázás irányítására, ill. a szaktanácsadás számára talajvizsgálati határértékek javasolhatók. E mészlepedékes csernozjomon a 4.8 táblázatban közöltek szolgálhatnak iránymutatóul.

4.6 táblázat: A könnyen oldható P tartalom felhalmozódása a talaj szántott rétegében (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, AL-P₂O₅ mg/kg talajban) 3. ciklus

Régi P ₂ O ₅ kg/ha/8 év	Új P ₂ O ₅ kg/ha/év 1970-73. között					
	0	40	80	120	SzD5%	Átlag %
1970-71. évek átlagában						
0	60	64	75	85		71
240	70	80	90	95	10	84
480	86	98	105	118		102
Átlag	72	80	90	99	5	86
%	100	111	125	138	7	119
1972-73. évek átlagában						
0	60	76	84	108		82
240	74	86	95	120	16	94
480	92	102	126	142		115
Átlag	75	88	102	123	8	97
%	100	117	136	164	11	129

A 70-es évek elejével új megvilágításba került a talajok foszforszolgáltató képességének kérdése. Az országosan is pozitív P mérleg mind elméleti, mind gya-

korlati szempontból előtérbe helyezte a talajban maradó műtrágya-P sorsának, értékcsökkenésének nyomon követését. Metodikailag olyan kísérleti körülmények biztosítása a cél, ahol lehetőleg minden műtrágyahatást befolyásoló tényező változatlan szinten tartható, kivéve a talaj P-tartalma. Tekintve, hogy mind a tenyész-edény kísérletek, mind a ^{32}P módszere ilyen hosszú tartamú vizsgálatoknál csak korlátozottan nyújthat segítséget, szabadföldi tartamkísérletben kezdtük el a műtrágya-P felezési idejének megismerését.

4.7 táblázat: A talaj P ellátottsága és a P műtrágyázás hatékonyságának összefüggése. Őszi búza monokultúra, szem t/ha. (Kádár 1978) (Mészlepedékes vályog csernozjom, Nagyhörcsök, 1970-73) 3. ciklus

Régi P ₂ O ₅ kg/ha/8 év	Új P ₂ O ₅ kg/ha/év 1970-73. között					Átlag	**
	0	40	80	120	SzD ₅ %		
1970-71. évek átlagai							
0	1.6	2.5	3.0	3.4		2.6	14.8
240	2.6	3.2	3.6	3.8	0.4	3.3	9.8
480	3.0	3.5	3.6	3.7		3.5	5.4
Átlag	2.4	3.0	3.4	3.6		3.1	10.0
%	100	126	142	150		129	
1972-73. évek átlagai							
0	1.7	3.2	3.6	3.6		3.0	17.5
240	2.4	3.4	3.9	3.9	0.4	3.4	13.5
480	3.2	3.9	3.8	3.9		3.7	5.4
Átlag	2.4	3.5	3.8	3.8		3.4	12.1
%	100	144	155	157		139	

** = Az új P átlagos marginális hatékonysága, azaz 1 kg P_2O_5 -re jutó búza szemterméstöbblet kg-ban

4.8 táblázat: A P ellátottsági határértékek becslése meszes csernozjom talajon búza monokultúrában (Kádár 1978)

Talajvizsgálati jellemzők, szemtermés	P ellátottság foka a talajban		
	gyenge	közepes	kielégítő
AL- P_2O_5 , ppm	70 alatt	70-150	150 felett
Olsen P_2O_5 , ppm	20 alatt	20-40	40 felett
Búza szemtermés, t/ha	2.5 alatt	2.5-4.0	4.0 felett

A korábban taglalt átépítési kísérletben a P talajban történő előregedése szabatosan nem volt vizsgálható. A régi és az új P hatásait csak viszonylagos

értelemben tudtuk megítélni, hiszen a trágyázás évente és folyamatosan történt. A kumulatív hatások miatt más volt a régi P új P-hoz viszonyított hatása attól függően, hogy melyik évben mértük. A korábbi tapasztalatok alapján 1972. őszén új kísérletet terveztünk, melyben 2 éves termésátlagok alapján az idő függvényében szabatosan mérhető a 2, 4, 6, 8 stb. éves talajban maradt régi P "friss P" egyenértéke és megismerhető, leírható a P felezési ideje. Az új, 20 évre tervezett kísérlet 9 kezeléssel 12 ismétlésben indult. A "kis hatásgörbe" mellett 240-720 kg tartományban feltöltő adagokat is tartalmazott, hogy 15-20 év múlva is mérhető utóhatásokat kapjunk (4.9 táblázat).

4.9 táblázat: A kísérlet trágyázási terve 1972-1990. évekre (Kádár 1978)

P ₂ O ₅ kg/ha 1972. őszén	Új P ₂ O ₅ , kg/ha, 1974-1990. között				Bevitel éve
	0	40	80	120	
0	-	40	80	120	1974
40	-	40	80	120	1976
80	-	40	80	120	1978
120	-	40	80	120	1980
240	-	40	80	120	1982
360	-	40	80	120	1984
480	-	40	80	120	1986
600	-	40	80	120	1988
720	-	40	80	120	1990

A korábbi tapasztalatok alapján a hatásokat elsősorban őszi búza monokultúrában hasonlítottuk össze. A monokultúrában erősebben fellépő fertőzések (hesseni légy, fuzárium, lisztharmat) csökkentése érdekében aratás után a tarlót szalmával együtt rendszeresen felégettük. Többek között ennek is köszönhetően általában elfogadható terméseket kaphattunk még a monokultúra 6-8. éveiben is. Szükség szerint vegyszeres gyomirtásra és talajfertőtlenítésre is sor került, így a P kontroll parcellák ritkább állománya sem vált erősebben gyomossá. A monokultúra sikeres fenntartása érdekében fajtacseréhez folyamodtunk. A vetés, növény-ápolás, betakarítás az üzemekben szokásos agrotechnikával történt. A kétéves termésátlagokat a 4.10 táblázat mutatja be. A monokultúrát a III. ciklusban 1 év köles és 3 év lucerna beiktatásával megtörtük, majd újra kalászosokkal folytattuk.

Választ kerestünk a kísérletben arra is, hogy a talaj P ellátottsága milyen hatással van az évenkénti termésingadozásokra? Hogyan alakulnának az őszi búza hozamai, amennyiben a különböző P ellátottságú talajon megszüntetnénk a P műtrágyázást? Milyen mérvű terméscsökkenéssel számolhatunk az évek során? Az I. termőhelyi kategóriába tartozó kísérleti terület talaja foszforral gyengén, káliummal és nitrogénnel közepesen ellátott volt. Évenkénti 200 kg/ha N és 100 kg/ha K₂O adagolással biztosítottuk az alaptrágyázás szintjét.

4.10 táblázat: A P műtrágyázás utóhatásának vizsgálata 18 éves tartamkísérletben (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1973-1990) Kétéves átlagtermések t/ha

P ₂ O ₅ kg/ha 1972. őszén	GE t/ha*, 2 éves átlagok								
	1973/74	75/76	77/78	79/80	81/82	83/84	85/86	87/88	89/90
0	4.8	1.7	3.3	3.2	2.0	3.8	2.7	1.7	2.2
40	5.2	2.7	3.6	3.2	2.0	3.6	2.5	1.9	2.3
80	5.3	3.1	3.8	3.1	2.0	3.5	2.6	1.8	2.0
120	5.3	3.4	4.0	3.3	2.1	4.0	2.6	1.9	2.3
240	5.2	4.1	4.7	3.6	2.1	3.9	2.8	1.9	2.3
360	5.1	4.4	5.0	3.9	2.2	4.1	2.8	2.1	3.1
480	5.1	4.6	5.0	4.1	2.2	4.3	2.9	2.2	2.6
600	5.1	4.5	5.1	4.3	2.2	4.4	3.0	2.5	2.9
720	4.9	4.8	5.0	4.5	2.2	4.7	3.1	2.7	3.0
SzD5%	0.3	0.4	0.5	0.6	0.2	0.4	0.2	0.3	0.4
Átlag	5.1	3.7	4.4	3.7	2.1	4.0	2.8	2.1	2.5

* Megjegyzés: Az őszi búza és a tavaszi árpa szemnél 1.0, a kölesnél 0.8, a lucerna szénánál 0.5 szorzót alkalmaztunk. (1973-80. között ó. búza (8 év), 1981. köles, 1982-84. között lucerna, 1985-ben t. árpa, 1986-90. között (5 év) ismét ó. búza volt a kísérleti növény).

A kísérletek főbb eredményeit röviden az alábbiakban foglaltuk össze (Kádár 1978, Kádár és Csathó 1985, 1991, Kádár-Csathó-Sarkadi 1984):

1. A talajba vitt műtrágya-P teljes mennyisége kimutatható volt AL-oldható formában az első évben. Az AL-P₂O₅ tartalom 10 ppm értékkel való növelését 30-40 kg/ha műtrágya P₂O₅ adaggal értük el.
2. Az egyensúly beálltát követően, a kísérlet 4. éve után, átlagosan 100 kg/ha körüli műtrágya-P kellett ahhoz, hogy a szántott réteg AL-P tartalmát 10 ppm értékkel növeljük.
3. Monokultúrában igen nagyok voltak a termésingadozások, különösen a foszforral gyengén ellátott parcellákon. A jól ellátott parcellákon a szemtermések abszolút és relatív szórása lecsökkent. Az okszerű P műtrágyázás, ill. a talaj kielégítő P ellátottsága tehát a termésstabilitás fontos tényezője.
4. A csapadék és a szemtermések kapcsolatát vizsgálva megállapítottuk, hogy mind a túl száraz, mind a túl nedves évek a kalászosok termés csökkenéséhez vezethetnek. Az országos termésátlagokhoz hasonlóan a legkisebb búzatermések a legszárazabb 1976. és 1979., valamint a legnedvesebb 1985. évekhez kötődtek.

5. Megfigyeléseink is alátámasztották azon nézeteket (Győrfy 1975), melyek szerint a túl nedves évek terméscsökkentő hatása a kalászosok gombabetegségeinek erőteljesebb fellépésével függhet össze.
6. A P utóhatásokat elemezve arra a következtetésre jutottunk, hogy amennyiben abbahagyjuk a P műtrágyázást, a P-ral gyengén ellátott talajon már az első évektől termés csökkenéssel számolhatunk. A közepesen ellátott talajon azonban még hasonló monokultúras viszonyok között is csak a 3-4., míg a jól ellátotton a 6-8. éveket követően következhet be jelentősebb termés csökkenés.
7. A legnagyobb fajlagos szemtermés-többleteket a legkisebb, 40 kg/ha adagnál kaptuk, a 8 év összegében kerekén 86 kg szemtermés-többletet 1 kg P₂O₅ felhasználásával. Agronómiai szempontból azonban nem lehet célunk a P minél teljesebb hasznosulására törekedni, mert ez csak a P-ral gyengén ellátott talajon és kis termések árán válik lehetségessé. Először célszerű a talaj kielégítő ellátottságát elérni talajgazdagító trágyázással, majd ezt követően rátérni a fenntartó trágyázásra és így megőrizni a talaj termékenységét.
8. Az első években az "öregebb" P hatása még nagyobb is lehet mint a frissen adotté. A 3-4. éve talajban levő P műveléssel már jobban eloszlik a talajban és a növények gyökerei számára hozzáférhetőbb. A talaj kolloidjain, a CaCO₃ felületén frissen kicsapott foszfátionok növényi felvehetősége még kielégítő, így hatékonyságukat elsősorban a talajban történő eloszlásuk szabja meg.
9. Az 5-6. évet követően az előregedő P hatékonysága látványosan csökkent. Tartamkísérletünk 18 évének adatai alapján a szuperfoszfát formában adott foszforműtrágya "felezési ideje", azaz hatásának felére csökkenése 5-6 éves időszakonként következett be (4.11 táblázat).

4.11 táblázat: A talajban maradt régi P utóhatásának összehasonlítása a frissen adottal azonos mérlegtartományban, kétéves átlagos terméstöbbletek alapján (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhorcsök, 1973-1990) (Kádár és Csathó 1991)

Új P kora	Régi P kora	A kísérlet éve	növénye	Új P t/ha	Régi P t/ha	Új P %	Régi P %
1-2. éves	-	1973-74	búza	0.50	-	100	-
1-2. éves	3-4 éves	1975-76	búza	1.18	1.49	100	126
1-2. éves	5-6. éves	1977-78	búza	0.98	0.60	100	61
1-2. éves	7-8. éves	1979-80	búza	1.14	0.42	100	37
1-2. éves	9-10. éves	1981-82	köles/lucerna	0.20	0.06	100	33
1-2. éves	11-12. éves	1983-84	lucerna	1.27	0.22	100	17
1-2. éves	13-14. éves	1985-86	t.árpa/búza	0.98	0.10	100	10
1-2. éves	15-16. éves	1987-88	búza	0.70	0.06	100	9
1-2. éves	17-18. éves	1989-90	búza	0.50	0.03	100	6

A növénytáplálási, műtrágyázási és általában a talajtermékenységi alapkutatásokkal szembeni igény ugrásszerűen megnőtt a 70-es évek elejére. A receptúrák használhatatlannak bizonyultak. Szükségessé vált az alapvető összefüggések,

kölcsönhatások, mechanizmusok megismerése. A "józan paraszti ész" már nem volt elégséges a termelési beavatkozások megalapozására, pl. a műtrágyázás irányítására. A kutatás mindenekelőtt tervezést és előrelátást feltételez, hiszen eredményei gyakran csak hosszú évek után jelentkeznek. Olyan kísérleteket kellett tervezni és beállítani, melyek kielégíthetik mind az elméleti, mind a gyakorlati követelményeket, melyeket a távolabbi jövő állíthat.

Választ kellett adni nemcsak arra, hogy melyek a műtrágyázás lehetőségei, hanem arra is, hogy melyek a műtrágyázás határai? Hogyan hat a műtrágyázás, ill. az ásványi táplálás a talajtulajdonságokra (fizikai, kémiai, biológiai), a növény termésére, minőségére, betegséggellenállóságára? Milyen hatással van a kemizálás, ill. az esetleges túltrágyázás a környezetre általában (nitrátosodás, nehézfém terhelés stb.)? Miképpen lehet a talaj tápanyagszintjeit feltöltő trágyázással kialakítani, mennyi lehet az ilyen beavatkozások műtrágyaigénye? A már létrejött kielégítő tápelemellátottságot hogyan lehet megőrizni stb? Ilyen jellegű kísérleti adatokkal a hazai kutatás nem rendelkezett, pedig egyre inkább hazai viszonylatban is előtérbe került a már "jól" ellátottnak minősített talajokon a fenntartó trágyázás kérdése.

Az említett követelményeknek csak az interdiszciplináris együttműködést megvalósító csoportmunka felelhet meg. Az alábbiakban bemutatjuk azt a szabadföldi műtrágyázási modellkísérletünket, amely az elmúlt közel két évtized folyamán sikeresen integrálta a rokon tudományok képviselőit. A komplexitásra törekvő kutatásaink során számos általánosítható tapasztalatot szereztünk a kutatás tervezésére, hatékonyságára vonatkozóan is. Így megemlíthető, hogy e kísérlettípusban:

1. nagyságrendekkel megnőtt a hasznos információk (adatok) mennyisége.
2. a belső ismétlések, valamint a jól elkülönülő ellátottsági szintek ugrásszerűen megnövelték az adatok megbízhatóságát és reprodukálhatóságát,
3. ezáltal precízen vizsgálhatókká váltak a kölcsönhatások és olyan mechanizmusok, törvényszerűségek, melyek korábban rejtve maradtak.

Kísérletünket 1973. őszén állítottuk be a MTA Talajtani és Agrokémiiai Kutató Intézete Nagyhörcsöki Kísérleti Telepén, mészlepedékes csernozjom talajon. A korábban már ismertített termőhely jó Mn, kielégítő Mg és Cu, közepes N és K, valamint gyenge P és Zn ellátottságot jelzett a talajvizsgálatok alapján. A 4³ típusú 3 tényezős NPK műtrágyázási kísérletben mindhárom tápelemet 4 szinten adagoltuk. Az ismétlések száma 2, az összes parcellák száma 128 volt, mert 64 kezeléssel minden lehetséges kombinációt létrehoztunk. A kísérleti kezeléseket és a szántott réteg AL-PK tartalmának változását a 4.12 táblázatban közöljük.

A kísérletben nem a szokásos kisebb-nagyobb adagokat alkalmaztuk, nem is hatásgörbe felvétele volt a cél, hanem az eltérő tápláltsági szituációk, minőségileg különböző tápelemellátottsági szintek tanulmányozása. Megjegyezzük, hogy a melioratív trágyázással létrehozott PK ellátottsági tartományok évenkénti fenntartó trágyázás nélkül gyorsan süllyedtek, ezért a feltöltő PK trágyázást 6-8 évenként megismételtük. A parcellákat megfeleztük és az utóhatások mérésén túlmenően a fenntartó trágyázást is tanulmányozhattuk évenkénti PK trágyázással

(Kádár 1978, Sarkadi 1979, Kádár et al. 1989, Csathó és Kádár 1990, Kádár és Csathó 1991).

4.12 táblázat: A kísérlet kezelései és a szántott réteg AL-PK tartalmának változása. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök. (Kádár 1978)

Ellátottsági szintek	P ₂ O ₅ kg/ha 1973 őszen	AL-P ₂ O ₅ , ppm		K ₂ O kg/ha 1973 őszen	AL-K ₂ O, ppm	
		1974	1976		1974	1976
0 (gyenge)	0	58	65	0	128	143
1 (közepes)	500	190	123	500	192	178
2 (kielégítő)	1000	361	190	1000	285	212
3 (káros)	1500	533	290	1500	362	268
SzD ₅ %	-	49	22	-	19	18
Átlag	-	284	167	-	242	200

Megjegyzés: a N adagok 0, 100, 200, 300 kg/ha/év

Az első 2 évben az őszi búza, a második 2 évben a kukorica ásványi táplálásával foglalkoztunk. A későbbi években a növényi sorrend egyetlen szempontnak volt alárendelve. Megismerni minden fontos szántóföldi növényünk viselkedését eltérő tápláltsági állapotokban és kidolgozni azokat a módszereket, melyekkel a növények tápláltsági állapota ellenőrizhető és előre jelezhető. Az elmúlt 17 év során napjainkig az alábbi növényfajok vizsgálatára került sor: őszi búza, kukorica, burgonya, őszi árpa, zab, cukorrépa, napraforgó, mák, repce, mustár, sör-árpa, olajlen, szója, rostkender és 1990-ben borsó.

E kísérletekben számszerű összefüggéseket állapítottunk meg az egyes növényfajok tápláltsági állapota és szárazanyag termelése, ásványi összetétele (makro- és mikroelemek felvétele a tenyésztő folyamán), minőségi jellemzői, gyomosodási viszonyai, betegségekenállósága között. A növények tápláltsági állapotát talaj- és növényvizsgálatokkal jellemeztük, illetve talajvizsgálati és növénydiagnosztikai határértékeket dolgoztunk és dolgozunk ki az egyes növényfajokra. A kórtani felvételezéseket dr. Vörös József és Léránthné Szilágyi Judit (MTA Növényvédelmi Kutató Intézete), a gyomfelvételezéseket dr. Radics László (GATE Földműveléstani Tanszéke) végezte. A speciális ipari növények termesztésével, ipari minőségük vizsgálataival összefüggő munkákat minden esetben az egyes növények hazai "gazdáival" közösen végeztük (söripar, növényolajipar, kenderipar, cukoripar stb.).

Kutatásaink során arra a következtetésre jutottunk, hogy csak a megfelelő agronómiai háttér és a növénytermesztési gyakorlatba ágyazott szabadföldi kísérletezés teheti lehetővé a tápláltság-hozam-minőség-betegségek (gyomok) közötti számszerű kapcsolatok feltárását. Tenyésztedény kísérletekben, kontrollált körülmények közötti mesterséges fertőzéssel pl. egy-egy részprobléma tisztázására valóban sikerrel vállalkozhatunk (Sz. Nagyné és Kádár 1990, Kádár és Sz.

Nagyné 1990). De az egész jelenség nem ismerhető meg, nem tárható fel a mechanizmusok és törvényszerűségek tenyészedényes vizsgálatokkal, hiszen ott úgy mint a természetben, meg sem jelenhetnek.

A továbbiakban példaképpen bemutatjuk a kísérlet első éveinek néhány eredményét, majd a későbbi, 80-as évek második felének tapasztalatait és megkíséreljük összefoglalni azokat. Mivel a kísérletet lucerna elővetemény után állítottuk be, az első években N-hatások nem jelentkeztek. Itt tárult fel talán először ilyen kézzelfoghatóan, szabadföldi viszonyok között az ionantagonizmus és a szinergizmus jelensége. A P ellátás javulása pl. nemcsak a kukorica P felvételét növelte bizonyíthatóan, hanem szinte minden más vizsgált elemét is kisebb-nagyobb mértékben. Az ionantagonizmus viszont kifejezetten jelentkezett a P-Zn, ill. K-Ca, K-Mg esetében (4.13 táblázat).

4.13 táblázat: A 6 leveles kukorica hajtásának tápelemtartalma az ellátottság függvényében (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1976) (Kádár és Elek 1977)

Tápelem	0	1	2	3	SzD5%	Átlag
A P-ellátottság függvényében						
N %	3.91	4.10	4.11	4.11	0.20	4.05
K %	3.40	3.43	3.56	3.64	0.13	3.50
Ca %	0.88	0.98	1.00	1.00	0.04	0.97
Mg %	0.52	0.59	0.59	0.59	0.04	0.57
P %	0.31	0.47	0.51	0.60	0.04	0.47
Fe ppm	606	662	649	685	62	650
Mn ppm	93	132	152	166	7	136
Zn ppm	31	21	22	21	2	24
Cu ppm	11	12	14	14	1	13
A K-ellátottság függvényében						
K %	1.97	3.37	4.22	4.49	0.13	3.50
Ca %	1.22	1.00	0.85	0.79	0.04	0.97
Mg %	0.77	0.59	0.48	0.45	0.04	0.57
Fe ppm	735	631	625	610	62	650
Mn ppm	147	135	129	132	7	136
B ppm	7.7	7.3	7.1	7.0	0.4	7.3

Az eltérő tápláltsági szituáció már a kísérlet első éveiben jelentkezett a növények némely betegséggel szembeni viselkedésén. A megfigyelt betegségek spontán fertőzés eredményei voltak, vegyszeres védekezést egyik évben sem végeztünk. A fertőzések mértékét bonitálással (lisztharman, levélfoltosság), valamint parcellánkénti tőszámálással (szártörés, golyvás üszög) állapítottuk meg és az összes növény %-ában fejeztük ki. Az NxP ill. KxP kölcsönhatások eredményeit a 4.14 táblázatban foglaltuk össze, ill. a következőkben értékelhetjük:

1. A N műtrágyázás 2-2.5-szeresére növelte az őszi búza lisztharmat, valamint a kukorica golyvásüszög fertőzöttségét.
2. A P műtrágyázás az irodalmi utalásokkal egyezően némiképpen ellensúlyozta a N ilyen irányú kedvezőtlen hatását. A kukorica fuzáriumos szártörését ugyanakkor egyértelműen a P túlsúlya (és az általa indukált Zn hiánya) okozta.
3. A K ellátás javulása minden esetben előnyösnek mutatkozott a betegségekkel szemben. Különösen kifejezetten jelentkezett ez a kukorica szártörésének és a burgonya alternáriás levélfoltosságának csökkenésén.

4.14 táblázat: A tápláltság hatása az őszi búza, valamint a kukorica betegségellenállóságára (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök). Fertőzöttség az összes növény %-ában kifejezve

	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	SzD _{5%}	Átlag
Lisztharmat (búza 1975)						
N ₀	30	28	14	26	10	24
N ₁	52	42	46	46		46
N ₂	62	52	58	46		54
N ₃	62	62	52	50		56
Átlag	52	46	42	42	5	46
Golyvás üszög (kukorica 1976)						
N ₀	10	8	8	8	2	8
N ₁	16	8	8	8		10
N ₂	20	14	12	11		14
N ₃	18	16	14	12		15
Átlag	16	11	10	10	1	12
Fusariumos szártörés (kukorica 1976)						
K ₀	25	90	90	98	10	75
K ₁	5	40	50	55		38
K ₂	0	35	35	38		28
K ₃	2	28	30	30		22
Átlag	8	50	50	55	5	40
Alternáriás levélfoltosság (burgonya 1978)						
K ₀	50	84	80	90	20	76
K ₁	30	50	56	60		48
K ₂	24	30	40	36		32
K ₃	20	20	36	36		28
Átlag	30	46	52	56	10	43

Megjegyzés: Az SzD_{5%} értékek a sorokra és az oszlopokra is azonosak

A K hatásmechanizmusa a két kapásnövényen jól nyomon követhető volt. A K trágyázásban részesült parcellákon a kukorica szára friss zöldebb maradt még törés idején is, így ellenállt a P indukálta szártörésnek. Ebből adódóan itt nem csökkent a tövek száma és az ezerszem tömege. Hasonlóképpen a K zöld lombot eredményezett a burgonyán levélfoltosság és nekrozisztünetek nélkül. A K hatásá-

ra ezért nőtt a burgonya átlagos gumósúlya, keményítőtartalma és az egységnyi területről nyert keményítőhozam (Kádár és Elek 1980, Kádár 1983).

A PK ellátás hatását a növények termésére a 4.15 táblázatban közöljük a KxP kétirányú táblázatokban. Amint látható, a K/P táplálás arányának, kiegyensúlyozottságának nagy jelentőséget kell tulajdonítanunk a talajban és a növényben. A növényi K/P arányokat a 4.16 táblázat mutatja be. A növény faja, kora, az eltérő növényi szervek szerint ugyan más és más a K/P arány ugyanazon parcellákon, de a talaj K és P ellátottsági szintjeit kielégítően tükrözni képes. A növényelemzés adatai összefüggésbe hozhatók a talajvizsgálati eredményekkel, a termésekkel, esetleg a betegségek fellépésének gyakoriságával is.

4.15 táblázat: A PK táplálás hatása a növények termésére. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, t/ha (Kádár 1980)

K-szintek	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	SzD5%	Átlag
Őszi búza szem, Kavkaz, 1975						
K ₀	3.5	4.7	5.0	5.1	0.3	4.6
K ₁	4.2	5.4	5.2	5.4		5.0
K ₂	4.3	5.2	5.5	5.5		5.1
K ₃	4.2	5.3	5.5	5.6		5.2
Átlag	4.0	5.1	5.3	5.4	0.2	5.0
Kukorica szem, MV SC-380, 1976						
K ₀	4.1	4.5	4.3	3.4	0.6	4.1
K ₁	4.9	5.7	4.8	4.6		5.0
K ₂	4.8	6.2	5.4	4.5		5.2
K ₃	5.0	6.2	5.0	4.6		5.2
Átlag	4.7	5.6	4.9	4.2	0.3	4.9
Kukorica szem, MV SC-380, 1977						
K ₀	8.8	9.2	8.7	8.2	0.8	8.7
K ₁	9.0	9.3	9.0	8.2		8.9
K ₂	9.0	9.1	8.9	8.4		8.8
K ₃	9.1	9.1	8.8	8.5		8.9
Átlag	9.0	9.2	8.8	8.3	0.4	8.8
Burgonya gumó, Desireé, 1978						
K ₀	16.6	20.1	19.7	19.5	2.5	19.0
K ₁	20.0	24.0	24.4	24.8		23.3
K ₂	21.8	26.9	25.8	27.4		25.5
K ₃	22.1	27.3	27.5	28.5		26.4
Átlag	20.1	24.6	24.4	25.0	1.3	23.6

Megjegyzés: Az SzD5% értékek a sorokra és az oszlopokra is azonosak

4.16 táblázat: A PK táplálás hatása a növény K/P arányára. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök (Kádár 1980)

K-szintek	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	SzD _{5%}	Átlag
Kukorica föld feletti rész, 6 leveles, 1976						
K ₀	6.4	3.8	3.9	2.8		4.0
K ₁	11.1	7.1	6.2	5.9	4.0	7.2
K ₂	13.0	9.2	8.7	7.9		9.4
K ₃	13.2	9.8	8.9	8.3		9.7
Átlag	10.6	7.3	7.0	6.1	2.0	7.5
Kukorica levél a cső alatt virágzás kezdetén, 1977						
K ₀	4.6	2.9	2.2	1.9		3.0
K ₁	6.8	3.8	3.4	3.1	2.2	4.3
K ₂	8.0	5.4	4.6	3.8		5.5
K ₃	8.2	5.9	5.1	4.8		6.0
Átlag	7.0	4.5	3.8	3.4	1.1	4.7
Kukorica szára töréskor, 1977						
K ₀	10.1	4.0	2.8	1.9		4.7
K ₁	13.0	5.3	3.7	2.5	4.4	6.1
K ₂	13.0	8.6	3.6	3.4		7.2
K ₃	22.3	8.1	4.3	3.8		9.6
Átlag	14.4	6.3	3.7	2.9	2.2	6.8
Burgonya levél virágzás idején, 1978						
K ₀	4.7	3.6	3.4	2.8		3.4
K ₁	8.0	5.3	4.7	4.4	6.2	5.4
K ₂	14.7	8.7	8.2	7.7		9.5
K ₃	20.0	12.0	11.6	10.2		13.4
Átlag	11.4	7.3	6.7	6.1	3.1	7.5

Megjegyzés: Az SzD_{5%} értékek a sorokra és az oszlopokra is azonosak

A talaj termékenységének egyik jellemzője a biológiai folyamatok intenzitása, melyet a cellulózbontó aktivitással is jellemezhetünk. Kísérletünkben az Unger (1960) által javasolt cellulóz tesztet alkalmaztuk, hogy a műtrágyázásnak a talaj mikroszervezeteire gyakorolt hatásáról információt nyerjünk. Ezen a P-szegény talajon elsősorban a P táplálás serkentette a cellulózbontást. A K önmagában kevésbé, esetleg negatívan hatott (4.17 táblázat). Egyéb, más talajokon végzett vizsgálatok eredményeit is összefoglalva megállapítottuk, hogy a talaj

mikrobiális élőlényei közelítően hasonló tápelemigényt támaszthatnak a talajjal szemben, mint a magasabbrendű növények. Ebből adódóan átmenetileg konkurens is lehetnek a talaj felvehető tápanyagai tekintetében, ill. az egyoldalú túltrágyázás depresszív hatásaitól sem mentesek (Gamal et al. 1976, Lásztity et al. 1981, Kádár 1978, Gulyás és Kádár 1984 stb.).

4.17 táblázat: A tápelemellátottság hatása átlagosan, 3 hónapos expozíciós időszak után a talaj cellulózbontó aktivitására. Elbomlott cellulóz %-ban. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök. (Gamal et al. 1976, Kádár 1980, Lásztity et al. 1981)

NK-szintek	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	SzD _{5%}	Átlag
Őszi búza alatt, 1974 aratás előtt						
N ₀	44	54	62	61	10	55
N ₁	46	51	66	50		53
N ₂	42	57	71	57		57
N ₃	43	56	76	53		57
Átlag	44	54	69	55	5	55
Őszi búza alatt, 1975 aratás előtt						
K ₀	39	60	60	57	5	54
K ₁	33	65	64	60		56
K ₂	33	63	56	52		51
K ₃	31	54	47	49		45
Átlag	34	61	57	54	2	52
Kukorica alatt, 1976 törés előtt						
N ₀	19	20	21	23	3	21
N ₁	21	24	26	26		24
N ₂	21	27	32	31		28
N ₃	23	30	30	34		29
Átlag	21	25	27	28	2	26
Burgonya alatt, 1978 szedés előtt						
N ₀	13	16	16	17	2	15
N ₁	13	18	19	19		17
N ₂	14	20	23	24		20
N ₃	13	20	24	26		21
Átlag	13	18	20	21	1	18

Az utóbbi időben hazánkban is nő a közvélemény aggodalma a mezőgazdaságban alkalmazott kemikáliák környezetre gyakorolt esetleges káros hatását illetően. A fejlett, sok műtrágyát használó országokban már korábban kutatási programok indultak a műtrágyák talajra gyakorolt terhelésének vizsgálatára. Ez a káros hatás nemcsak a NO_3 szennyeződéssel lehet kapcsolatos. Bizonyos talajokban a NO_3 redukálódik, tehát nincs NO_3 probléma, azonban a talajvíz minőségének romlása mégis bekövetkezhet. Vizsgálunk kell tehát az egyéb ionokat, a műtrágyák vivőanyagait is.

4.4. A műtrágyázás, mint a környezetterhelés okozója

Mint ismeretes, a szuperfoszfát a szokásos 18-20 % P_2O_5 tartalmán kívül még mintegy 13 % elemi kén (40 % SO_4), a 40 %-os kálisó a K_2O tartalmán kívül még 10 % nátriumot és 45 % klórt is tartalmazhat. A kísérlet első évét követően 1 m mélységig végeztünk fúrásokat és azt találtuk, hogy a műtrágyák tápelemeinek és kísérő ionjainak mozgását jól jellemezhetjük az elektromos vezetőképesség elve alapján becsült "összes só" tartalmának alakulásával. A műtrágyák mint sók nagyságrendileg növelhetik az elektrolitok mennyiségét a talajban. Vizsgálataink szerint a nitrát, szulfát, klorid, foszfát anionok, valamint a kalcium, magnézium, nátrium és kálium kationok játszhatnak szerepet a szokásos pétisó, szuperfoszfát és kálisó alkalmazásakor (Kádár et al. 1976).

A 11-12 év alatt felhasznált műtrágyák (sók) ill. hatóanyagok mennyiségeit a 4.18, míg a talaj AL-PK tartalmának változását a 4.19 táblázatban tüntetjük fel. Mélyfúrás céljaira a 4-4 NPK szintet képviselő kezelések 2-2 ismétlését, azaz összesen 8 parcellát választottunk. A mintákat 20 cm-es rétegenként, parcellánként 3-3 pontban vettük. Az összesen 360 talajminta analízisét a Fejér megyei NAA végezte a szokásos paraméterekre. A következő évben, 1985 augusztusában a fúrásokat 6 m mélységig terjesztettük ki, ezzel vizsgálataink megbízhatóságát is ellenőrizhettük.

4.18 táblázat: A kísérletben 11 év alatt felhasznált tápelemek ill. műtrágyák mennyisége, t/ha. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1973-1984.

Ellátottsági szintek	N	P_2O_5	K_2O	(K_2O)	Pétisó 25 %	Szuperf. 18 %	Kálisó	
	hatóanyagra számolva						40 %	60 %
0	0	0	0	(0)	0	0	0	(0)
1	1.1	1.0	1.0	(1.5)	4.4	5.5	2.0	(3.0)
2	2.2	2.0	2.0	(3.0)	8.8	11.0	4.0	(6.0)
3	3.3	3.0	3.0	(4.5)	13.2	16.5	6.0	(9.0)

(K_2O) = 1984 őszén összesen

4.19 táblázat: A talaj AL-oldható P és K tartalmának változása. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1984.

Mélység cm	NPK ellátottsági szintek				SzD _{5%}	Átlag
	000	111	222	333		
AL-P ₂ O ₅ ppm						
0-20	76	150	292	470	36	247
20-40	46	58	93	126	16	81
40-60	38	42	51	68	6	50
AL-K ₂ O						
0	130	144	186	263	7	181
20-40	103	98	114	138	13	113
40-60	75	73	78	77	9	76

A kísérlet becsült N mérlegeit a 4.20, az "összes só" mérlegét a 4.21, míg a nitrát-N és a szulfát anionok mérlegét a 4.22 táblázat eredményein tanulmányozhatjuk. Főbb vizsgálati eredményeinket a következőkben foglaljuk össze (Kádár et al. 1987, Németh et al. 1988):

1. A nitrát-N felhalmozódási maximuma a 60-200 cm-es rétegben volt az intenzíven műtrágyázott kezelésekben és a különböző kezelések görbéi szignifikánsan eltértek egymástól. Az évi 300 kg/ha N kezelésben az 1 m-es réteg nitrát-N készlete 1984-ben elérte a 455, az 1-2 m rétegé a 600 kg N-t, míg az egész 3 m-es profil 1300 kg N/ha készlettel rendelkezett, mely egy nagyságrenddel haladta meg a trágyázatlan talajét.

4.20 táblázat: A kísérlet N mérlegének becsült egyenlegei, kg/ha. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1984-85.

Mérleg tételei	NPK ellátottsági szintek			
	000	111	222	333
1984-ben, a 11. év végén				
Adott N	-	1100	2200	3300
Felvett N	1221	1646	1752	1839
Egyenleg	-1221	-546	+448	+1461
Különbség (D)	-	675	1669	2682
0-3 m talajban	-	65	602	1203
D %-ban	-	10	36	45
1985-ben, a 12. év végén				
Adott N	-	1200	2400	3600
Felvett N	1318	1804	1941	2043
Egyenleg	-1318	-604	+459	+1557
Különbség (D)	-	714	1777	2875
0-6 m talajban	-	41	664	1466
D %-ban	-	6	37	51

4.21 táblázat: A kísérlet "összes só" mérlegének becsült egyenlegei, t/ha. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1984.

Mérleg tétellei	NPK ellátottsági szintek			
	000	111	222	333
Műtrágyákban adott				
Pétisó	-	4.4	8.8	13.2
Szuperfoszfát	-	5.5	11.0	16.5
Kálisó	-	3.0	6.0	9.0
Összesen	-	12.9	25.8	38.7
Talajban				
0-100	0.4	0.8	4.8	9.2
100-200	-	0.7	10.2	14.6
200-300	-	-	6.6	8.4
Összesen	0.4	1.5	21.6	32.2
Különbség	-	1.1	21.2	31.8

2. A trágyázatlan és az évi 100 kg N/ha kezelések talajaiban a mélyebb rétegek nitrát-N feldúsulása, bemosódása nem figyelhető meg. Csak a növény által fel nem vett műtrágya N-t, a túltrágyázás által okozott N többletet fenyegeti a kilúgzás veszélye.
3. A KCl-oldható mozgékony szulfát anionok felhalmozódási maximumát szintén a 60-200 cm rétegben találtuk, a nitrát profilhoz hasonlóan. A 11 év alatt felhasznált 10-15 t/ha szuperfoszfát műtrágyázás hatására a 3 m-es réteg szulfát-anion készlete a kontrolléhoz viszonyítva 2-2.5-szeresére, 700 kg/ha mennyiségről 1500-1600 kg/ha-ra emelkedett.
4. A kísérlet 12. évében a nitrát-N bemosódási zónája elérte a 3.5-4 m mélységet. Ez megfelelhet a 20-30 cm évenkénti lefelé irányuló mozgásnak. További vizsgálatok szükségesek e jelenség megismerésére, hosszabb időszakot kell még figyelemmel kísérnünk a jövőben. Felül kell vizsgálnunk azt a korábban uralkodó nézetet, miszerint hazánk száraz, negatív vízmérlegű viszonyai között és kötöttebb talajokon a kilúgzás nem játszhat érdemi szerepet.
5. A N mérleg adatai szerint a N-nel trágyázott parcellákon a növényi N felvétel 150-160 kg/ha/év volt átlagosan. Az ezt meghaladó műtrágya-N 1/3-a, fele volt kimutatható a talajban nitrát-N formában. A túltrágyázás mértékével a talajban kimutatott N részaránya emelkedett.
6. Ezen a jól szellőző meszes, humuszos vályog talajon az ammónia formában adott N is gyorsan nitrát-N-né alakul át. Minden olyan eljárás, amely növelheti a N növény által történő hasznosulását, hatékony eszköz lehet a talajvizek nitrát szennyeződése ellen.
7. A műtrágyázás irányításában, ill. a trágyázási szaktanácsadás során a talaj felső 60-90 cm-es rétegének nitrát-N készletét figyelembe kell venni. Ez a készlet műtrágya-N egyenértékű, tehát a tervezett termés N műtrágya szükséglete ennyivel csökkenthető, a túltrágyázás (pocsékolás, környezetszennyezés) elkerülhető.

4.22 táblázat: A kísérlet nitrát-N és szulfát-anion mérlegei, kg/ha, (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1984-85), Kádár-Németh-Kovács 1987, Németh-Kovács-Kádár 1988

1984-ben, a 11. év végén (NO ₂ +NO ₃)-N					
Mélység cm	NPK ellátottsági szintek				Átlag
	000	111	222	333	
0-100	62	70	228	455	203
100-200	32	74	354	600	265
200-300	41	56	155	283	134
Összesen	135	200	737	1338	602
Különbség	-	65	602	1203	623
1985-ben, a 12. év végén (NO ₂ +NO ₃)-N					
0-100	57	56	88	298	125
100-200	63	77	445	743	333
200-300	49	88	253	448	209
300-400	59	63	85	185	98
400-500	63	53	73	69	64
500-600	62	57	73	76	67
Összesen	353	394	1017	1819	896
Különbség	-	41	664	1466	724
1984-ben, a 11. év végén (SO ₄ ²⁻)					
0-100	242	487	526	619	469
100-200	249	421	543	620	459
200-300	217	325	396	419	339
Összesen	708	1223	1465	1658	1267
Különbség	-	515	757	950	741

A túltrágyázásra való törekvés a fejlettebb országok mezőgazdaságában is csak a 60-as években következett be. A hagyományos agrokémia és növénytáplálás, valamint növényvédelem ebből adódóan nem helyezett kellő súlyt a tápláltsági szituáció sokoldalú vizsgálatára. Késleltette az ez irányú kutatásokat a jelenségek komplex jellege. A természetben együtt jelenik meg egy-egy tápláltsági állapotban az eltérő hozam, minőség, megbetegedés, míg a hagyományos kutatás szerkezetében külön dolgozik a növénytermesztő, agrokémikus, kórtanos, rovarntanos stb. szakember.

Amint korábban utaltunk rá, a jelenkori beszűkült vetésforgók, a nagy táblákon folyó monokultúrák termesztés érzékennyé tette a rendszereket mind a betegségekre, mind az ásványi hiányokra és túlsúly tünetekre. Így már nemzetközi mércével mérve is igen magas fajlagos műtrágya használat és kémiai növényvédelem alakult ki hazánkban, ami nyomasztóan költségessé és környezetet terhelővé vált a 80-as években.

4.5. A tápláltság, hozam, minőség, betegségek, gyomosodás összefüggései

Kísérletünkben az első 10-15 év után, a 80-as évek közepére, a fő tápelemek 4-4 ellátottsági tartománya igen pregnánsá lett. Ezzel a szabadföldi modellel reprezentálni tudtuk mindazon tápláltsági állapotot (a kiegyensúlyozott és a diszharmonikus alul- vagy túltápláltsági szituációkat is), amelyek a gyakorlatban is létrejönnek az egyes talajokon és táblákon, ill. előfordulhatnak a jövőben. A kísérletben 16 év alatt felhasznált műtrágya hatóanyagok mennyiségéről a 4.23, a talajok felvehető tápelemtartalmáról pedig a 4.24 táblázat adatai tájékoztatnak.

4.23 táblázat: A kísérletben 16 év alatt felhasznált műtrágya hatóanyagok mennyiségei (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1974-89. kg/ha)

Kezelés jele	Ellátottság foka	N évente	N $\frac{P_2O_5}{K_2O}$ összesen 16 év alatt		
000	gyenge	0	0	0	0
111	közepes	100	1600	1000	2000
222	kielégítő	200	3200	2000	4000
333	túlzott	300	4800	3000	6000

Megjegyzés: A P-adagolás 2 részben (1973 és 1980 őszen), míg a K adagolása 4 részben elosztva történt (1973, 1980, 1984, 1986 őszen)

4.24 táblázat: A talaj könnyen felvehető tápelemtartalmának változása (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1988. őszen)

Kezelés jele	Ellátottság foka	NO_3-N , kg/ha		AL-oldható, ppm		Olsen, ppm
		40-60 cm	0-60 cm	K_2O	P_2O_5	P_2O_5
000	gyenge	30	104	136	85	23
111	közepes	38	120	267	154	41
222	kielégítő	47	135	442	246	74
333	túlzott	69	166	606	363	104
SzD _{5%}		8	20	30	26	7

Megjegyzés: A P és K tartalom a szántott rétegben mérve

4.25 táblázat: Tápláltság hatása a sörárpa hozamára és gyomosodására
(Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1986)

N-szintek	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	SzD _{5%}	Átlag
Zöld földfeletti tömeg, kg/4 fm, 1986.05.26.						
N ₀	0.32	0.37	0.40	0.48	0.12	0.39
N ₁	0.42	0.73	0.76	0.81		0.68
N ₂	0.40	0.83	0.92	0.98		0.78
N ₃	0.39	0.87	1.01	1.13		0.85
Átlag	0.38	0.70	0.77	0.85	0.06	0.68
Gyomfajtaszám db/parcella, 1986.06.19.						
N ₀	6.0	4.9	5.1	5.1	1.4	5.3
N ₁	6.2	3.4	2.6	2.5		3.7
N ₂	5.6	2.8	1.1	0.9		2.6
N ₃	5.0	1.6	1.1	0.8		2.2
Átlag	5.7	3.2	2.5	2.3	0.7	3.4
Kultúrnövény borítottság, %, 1986.06.19.						
N ₀	53	58	56	53	7	55
N ₁	61	80	81	77		75
N ₂	68	83	92	94		84
N ₃	64	90	97	95		87
Átlag	62	78	82	80	4	75
Szemtermés t/ha aratáskor, 1986.07.23.						
N ₀	2.81	3.40	3.50	3.50	0.35	3.30
N ₁	3.26	4.73	5.11	5.27		4.60
N ₂	2.92	4.66	4.96	5.07		4.40
N ₃	2.66	4.58	4.78	4.83		4.22
Átlag	2.91	4.34	4.59	4.67	0.17	4.13
Szalmatermés t/ha aratáskor, 1986.07.23.						
N ₀	1.96	2.14	2.42	2.31	0.49	2.23
N ₁	2.77	3.97	4.39	4.32		3.87
N ₂	2.89	4.43	5.16	5.07		4.37
N ₃	3.88	4.67	5.26	5.46		4.69
Átlag	2.88	3.73	4.22	4.20	0.24	3.75

Megjegyzés: Az SzD_{5%} értékek a sorokra és az oszlopokra azonosak

4.26 táblázat: Tápláltság hatása a sörárpa minőségére és a vetésfehérítő (Dulema melanopus) kártételére (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1986)

N-szintek	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	SzD _{5%}	Átlag
Szemtermés összes-N tartalma, %						
N ₀	1.73	1.56	1.61	1.51	0.09	1.60
N ₁	1.97	1.93	1.91	1.87		1.92
N ₂	2.12	2.08	2.03	2.02		2.06
N ₃	2.20	2.06	2.11	2.06		2.11
Átlag	2.00	1.91	1.91	1.86	0.04	1.92
Szemtermés oldható-N tartalma, %						
N ₀	0.73	0.72	0.71	0.71	0.05	0.71
N ₁	0.84	0.69	0.69	0.72		0.71
N ₂	0.86	0.73	0.73	0.75		0.77
N ₃	1.00	0.84	0.83	0.82		0.87
Átlag	0.83	0.74	0.74	0.75	0.03	0.76
III. osztályú szem frakció aránya, %						
N ₀	16.2	14.0	15.4	15.3	3.3	15.2
N ₁	19.4	14.1	13.9	14.0		15.3
N ₂	21.6	22.8	23.2	20.8		22.1
N ₃	21.5	22.0	20.0	24.8		22.1
Átlag	19.7	18.2	18.1	18.7	1.6	18.7
Vetésfehérítő kártétele a felső leveleken, %						
1986. 06. 11.						
N ₀	20	18	22	16	28	19
N ₁	42	38	26	20		32
N ₂	40	46	42	32		40
N ₃	50	42	56	56		50
Átlag	38	36	36	32	14	36
Vetésfehérítő kártétel, TRN-értékszámok, GATE						
1986. 06. 11.						
N ₀	76	82	77	76	18	78
N ₁	85	82	86	86		84
N ₂	97	94	94	90		94
N ₃	110	92	100	99		100
Átlag	92	87	89	88	9	89

Megjegyzés: Az SzD_{5%} értékek a sorokra és az oszlopokra azonosak

1986-ban a sörárpa agrokémiájával foglalkoztunk. Főbb eredményeinket a 4.25 és 4.26 táblázatok foglalják össze a K szintek átlagában, mivel elsősorban a N és P táplálás, ill. azok kölcsönhatásai voltak kifejezettebbek. Amint a 4.25 táblázatban látható, fiatal korban a növény tömegét 3-3.5-szeresére lehetett növelni trágyázással. Ennek eredményeképpen 1/6-ára csökkent a gyomfajok száma, megduplázódott a kultúrnövény borítottság %-a június közepén. Aratás idejére azonban nemcsak a N alultáplálás, hanem a túltrágyázás is szemtermés csökkenéshez vezetett. A szalmatermés mint vegetatív növényi rész ugyanakkor tükrözte a szárbaindulás eleji viszonyokat és meghálálta a trágyázást, ill. nem lehetett a túltrágyázás negatív eredményét konstatálni.

A minőség romlását jól jelezte a szemtermés összes, valamint a sörlébe jutó oldható N-nek emelkedése és a kevésbé értékes III. osztályú frakció arányának növekedése. Amint arról korábban beszámoltunk, a túlzott N ellátás bizonyíthatóan csökkentette a szemek nedvesség és a maláta víz %-át, az extrakt-tartalmat, a cukrosodási időt, az I. és II. osztályú frakciók arányát. Ugyanakkor nemkívánatos mértékben megemelkedett a végerjedés %-a és a fehérje N is. A megfelelő P táplálással részben ellensúlyozni lehetett a túlsúly kedvezőtlen hatását. A kiegyensúlyozott ásványi táplálással tehát irányítható a termésképződés és befolyásolható a minőség (Bédek és Kádár 1988).

A vetésfehérítő bogár megjelenésekor bonitálással becsültük meg a rágott levélfelület nagyságát. A GATE Állattani Tanszékén Bakonyi Gábor "a táplálékfogyasztás relatív nagysága" (TRN) értékeit is megállapította a kísérlet egyik kevésbé fertőzött részén 50-50 tövet vizsgálva parcellánként. A rovarok elsősorban a nitrogénnel túltáplált növényeket károsították, ahol nagy tömegű zöld vegetatív biomassza képződött (4.26 táblázat).

A sörárpával ellentétben az olajlen 1987-ben már fiatal korban is rendkívül érzékenyen reagált a N és a P túlsúlyára, pl. a május végén mért növénymagasság a felére csökkent. Ez a degresszív hatás az egész év folyamán fennmaradt és kifejezésre jutott a gyökér, szár és szem termésének csökkenésében egyaránt. A táplálás megváltoztatta a növény biológiáját, életritmusát. A virágzás csaknem két hetet késett és a virágzás időtartama is megnőtt a túltrágyázott talajon (4.27 táblázat).

Mivel a kultúrnövénnyel való borítottság csaknem a felére zuhant, közel megháromszorozódott a gyomborítottság. Különösen megnőtt a *Chenopodium album* jelentősége, mely kiválóan képes hasznosítani a talaj tápanyagtökéjét. A fehér libatoppal való borítottság mintegy 6-szorosára emelkedett, enyhén nőtt a gyomfajok száma is (4.28 táblázat). Mintavétellel megbecsültük a gyomok tömegét és tápanyagforgalmát. A gyomok tömege közel 20-szorosára, a felvett N mennyisége több mint 20-szorosára, míg a felvett P és K mennyisége mintegy 30-szorosára növekedett a túltrágyázott NP parcellákon. A június 23-án mért tápelemfelvétel abszolút számokban is figyelemre méltó: 2-34 kg N; 0.4-10 kg P₂O₅; 3-60 kg K₂O hektáronként (4.29 táblázat).

Összefoglalóan megállapíthatjuk, hogy a gyomok fontos konkurensei lehetnek a kultúrnövénynek nemcsak a fényért és a vízért való harcban, hanem átmenetileg a talaj mobilis tápanyagpotenciáljának hasznosításában is. A gyomok faj-

4.27 táblázat: Tápláltság hatása az olajlen hozamára és virágzására
(Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1987)

N-szintek	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	SzD _{5%}	Átlag
Szemtermés g/m ² , 1987.07.27.						
N ₀	123	127	132	119	34	126
N ₁	176	180	176	171		176
N ₂	177	221	187	115		175
N ₃	172	206	160	106		161
Átlag	162	184	164	128	17	159
Szártömeg g/m ² , 1987.07.27.						
N ₀	146	161	164	141	35	153
N ₁	213	229	186	172		200
N ₂	206	238	196	127		192
N ₃	198	200	166	131		174
Átlag	191	207	178	143	17	180
Gyökértömeg, g/m ² , 1987.07.27.						
N ₀	40	39	44	42	10	41
N ₁	54	57	52	53		54
N ₂	52	56	52	39		50
N ₃	49	55	42	37		46
Átlag	49	52	47	43	5	48
Virágzás kezdetének naptári napja, 1987. 06. hóban						
N ₀	11	11	11	12	2	11
N ₁	10	10	12	14		12
N ₂	10	10	14	22		15
N ₃	10	11	18	23		16
Átlag	10	11	14	18	1	13
Virágzás időtartama, nap, 1987. június-július hó						
N ₀	12	12	12	12	2.6	12
N ₁	12	13	15	16		14
N ₂	14	15	17	16		15
N ₃	13	15	16	16		16
Átlag	13	14	15	15	1.3	14

Megjegyzés: Az SzD_{5%} értékek a sorokra és az oszlopokra azonosak

gazdagsága lehetővé teszi, hogy azok a gyomfajok aktivizálódjanak, amelyek kifejezetten hasznosítani tudják mind az alutápláltsági, mind a túltápláltsági szituációt. Az okszerű táplálás ill. műtrágyázás a gazdanövényt segíti (nő a kultúrnövénnyel való borítottság), ezen keresztül a gyomokat csökkenti. Ugyanez a mechanizmus azt is jelenti, hogy a kiegyensúlyozatlan táplálás, az alul- vagy túltrágyázás gyomosodást növelő tényező.

4.28 táblázat: Tápláltság hatása a növényi borítottságra és a gyomosodásra (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1987)

N-szintek	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	SzD _{5%}	Átlag
Olajlen borítottság, %, 1987.06.11.						
N ₀	69	72	70	67	12	69
N ₁	81	81	69	55		72
N ₂	81	75	56	42		63
N ₃	88	72	59	36		64
Átlag	80	75	63	50	6	67
Összes gyomborítottság, %, 1987.06.11.						
N ₀	8	10	9	11	4	10
N ₁	8	8	12	16		11
N ₂	9	10	16	22		14
N ₃	6	12	18	23		15
Átlag	8	10	14	18	2	12
Chenopodium album, %, 1987.06.11.						
N ₀	0.7	1.0	1.0	0.8	1.3	0.7
N ₁	0.8	1.5	2.0	2.7		1.9
N ₂	0.9	1.8	2.9	3.9		2.2
N ₃	0.3	3.2	2.9	4.1		2.9
Átlag	0.7	1.9	2.2	2.9	0.7	1.9
Reseda lutea, %, 1987.06.11.						
N ₀	0.9	1.7	1.0	1.8	0.9	1.2
N ₁	1.0	1.7	1.0	2.2		1.8
N ₂	1.3	1.7	2.3	2.6		1.6
N ₃	1.6	1.9	2.1	2.6		2.3
Átlag	1.2	1.8	1.6	2.3	0.5	1.7
Gyomfajok száma, db, 1987.06.11.						
N ₀	9.3	9.4	8.0	8.5	1.2	8.8
N ₁	7.6	7.0	8.5	9.5		8.2
N ₂	7.1	8.6	9.9	10.5		9.0
N ₃	6.8	7.4	9.9	11.0		8.8
Átlag	7.7	8.1	9.1	9.9	0.6	8.7

Megjegyzés: Az SzD_{5%} értékek a sorokra és az oszlopokra azonosak

4.29 táblázat: Tápanyagellátottság hatása a gyomok tömegére és tápelemforgalmára olajlen alatt (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1987)

N-szintek	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	SzD _{5%}	Átlag
Friss gyömtömeg g/m ² , 1987.06.23.						
N ₀	24	74	75	68	192	60
N ₁	39	51	150	318		139
N ₂	33	87	318	613		263
N ₃	22	167	413	604		302
Átlag	30	95	239	401	96	191
Légszáraz gyomtömeg g/m ² , 1987.06.23.						
N ₀	5.0	12.6	13.7	11.6	28	10.7
N ₁	7.2	9.2	24.2	54.5		23.8
N ₂	6.1	14.1	54.6	91.6		41.6
N ₃	4.1	29.5	66.9	95.6		49.0
Átlag	5.6	16.4	39.8	63.3	14	31.3
Felvett N kg/ha, 1987.06.23.						
N ₀	1.5	3.9	4.3	3.5	8.6	3.3
N ₁	2.4	3.2	8.0	16.2		7.5
N ₂	2.2	4.8	18.2	31.6		14.2
N ₃	1.5	10.2	23.0	34.3		17.3
Átlag	1.9	5.5	13.4	21.4	4.3	10.6
Felvett P kg/ha, 1987.06.23.						
N ₀	0.14	0.42	0.52	0.47	1.06	0.39
N ₁	0.18	0.28	0.89	2.22		0.90
N ₂	0.16	0.38	1.74	3.86		1.53
N ₃	0.12	0.73	2.40	4.32		1.89
Átlag	0.15	0.45	1.39	2.72	0.54	1.18
Felvett K kg/ha, 1987.06.23.						
N ₀	2.0	5.7	5.1	4.8	22.0	4.4
N ₁	2.9	4.0	10.6	29.4		11.7
N ₂	3.8	7.4	31.0	51.1		23.3
N ₃	1.6	17.2	41.2	52.8		28.2
Átlag	2.6	8.6	22.0	34.6	11.0	16.9

Megjegyzés: Az SzD_{5%} értékek a sorokra és az oszlopokra azonosak

Kíséreljük meg a fenti gondolatok, ill. a táplálás ilyen irányú hatásának jelentőségét jobban megvilágítani a gyomosodás oldaláról. Szántóföldi gyomnak minősítünk minden olyan növényt, amelyet nem vetettünk és hasznot közvetlenül nem hoz. Sőt a jelenléte káros, mert a kultúrnövény rovására elfoglalja a teret (napfény), vizet és tápanyagokat von el. A gyomok alkalmazkodtak a kultúrha-

tásokhoz, mint láttuk a trágyázáshoz is. Szinte mindenütt megtalálják életfeltételeiket, ezért is nehéz irtásuk.

A gyomok kártételét az irodalom olyan mérvűnek tekinti, mint a növényi betegségek és az állati kártevők által okozott kárt együttesen. A közvetlen károk között említik a tápanyagok és a víz felhasználását. Ezért is nagyobb az aszály okozta pusztítás a gyomos táblákon. A kultúrnövény beárnyékolása, esetenként a talajhő csökkenése szintén negatív következménnyel jár. A közvetett kártételek között említik, hogy a gyomok gazda, köztes vagy szaporító növényei lehetnek a gomba vagy rovar kártevőknek. Ma már meglehetősen elterjedt felfogás, hogy a gyomok gyökerei növekedést gátló toxikus anyagokat választhatnak ki (allelópátia). Külön gondot okoz a zöld gyomrészekkel fertőzött termés szárítása, tisztítása, esetleg betakarítása.

A nemzetközi viszonylatban is magasnak tűnő gyomirtószer (hasonlóképpen műtrágya, inszekticid és fungicid) felhasználása ellenére az összes gyomborítás újra megközelítette az 1950-es évek elején Újvárosi (1973) által becsült értékeket hazánkban. A gyomflóra fajszáma ugyan lecsökkent, de a megmaradt fajok vegyszer rezisztenciája nőtt, elterjedésük felgyorsult (Baranyai et al. 1987, Radics 1989, Ángyán és Menyhért 1988 stb.)

Amint láttuk az ásványi táplálás közvetetten, a kultúrnövényen keresztül jelentősen befolyásolhatja a gyomosodást. A tudományos alapokra helyezett műtrágyázási szaktanácsadás, ill. a harmonikus táplálás a gyomok visszaszorításának biológiai eszköze lehet. Olyan biológiai módszer, amely a gazdanövény életfeltételeit javítva és konkurenciaképességét növelve csökkenti a gyomosodás kártételét. Ugyanez elmondható a betegségekre és kártevőkre is. A növény ásványi táplálásán keresztül befolyásolható a betegségekkel és kártevőkkel szembeni ellenállás.

Az előzőek illusztrálására, érintve az aszály és a tápláltság néhány kérdését is, ismertetjük az 1988. évi szója kísérletünk néhány tanulságát. Ebben a száraz évben a legnagyobb magterméseket a 15 éve trágyázásban egyáltalán nem részesült parcellákon kaptuk. A kontroll talajon mért 2 t/ha körüli termések felére, 1 t/ha-ra csökkentek a legmagasabb NPK szinteken. Már a "közepesnek" tekintett P ellátás is terméscsökkenéshez vezetett és a növény fejlődését gátolta az ontogenezis folyamán. A N és K trágyázás hatástalan maradt a termés mennyiségére, de befolyásolta a minőséget.

A N túlsúly növelte az 1000 magtömeget és ezzel együtt csökkent a magvak olajtartalma. Ezt a negatív összefüggést más olajos növényeknél is tapasztaltuk (Kádár 1990). Az együttes NxP táplálás az olajtartalmat 4 %-kal csökkentette. Megváltozott az olaj minősége is, a zsírsavak egymáshoz viszonyított aránya. Így pl. a C 18 jelű sztearinsav 1-1.3 %-kal nőtt, míg a linolsav 2 %-kal csökkent a NP túltáplálás következtében (4.30 táblázat). A P túlsúly negatív hatása nyomán mérséklődött a kultúrnövény borítottsági %, ezzel párhuzamosan 4-szeresére növekedett a gyomborítottság, 5-ről 21 %-ra. Különösen a *Chenopodium* és az *Amaranthus* fajok léptek fel erőteljesen. A gyomok által felvett N 20-70 kg/ha között ingadozott (Kádár 1990).

A szója aratáskori *Macrophomina phaseolina* fertőzöttségét a parcellánként vett 50-50 fő értékelése alapján állapította meg Vörös József és munkatársa, a

kórokozóra jellemző mikroszklerociumok jelenléte alapján. A bőségesen táplált NPK parcellákon a növények még betakarításkor is zöldek voltak, míg a tápelemhiányosak (elsősorban a N nélküliek) elszáradtak. Köztudott, hogy ez a gomba főleg az aszály következtében kényszerérett növényeken képez szaporítótelepeket, mikroszklerociumokat.

4.30 táblázat: Tápláltság hatása a szójamag néhány minőségi jellemzőjére (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1988)

N-szintek	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	SzD _{5%}	Átlag
1000 magtömeg, g						
N ₀	107	103	104	102		104
N ₁	122	126	124	122	6	124
N ₂	131	136	134	133		134
N ₃	135	140	138	136		137
Átlag	124	126	125	123	3	125
Olajtartalom % a szárazanyagban						
N ₀	23.2	23.0	23.4	23.0		23.1
N ₁	21.6	20.9	20.6	20.5	0.6	20.9
N ₂	20.9	19.6	19.8	19.8		20.0
N ₃	20.4	19.7	19.4	19.4		19.7
Átlag	21.5	20.8	20.8	20.7	0.3	20.9
C 18 zsírsav % az olajban						
N ₀	4.22	4.50	4.62	4.62		4.49
N ₁	4.68	5.05	5.32	5.30	0.22	5.09
N ₂	4.60	5.03	5.30	5.48		5.10
N ₃	4.68	5.12	5.45	5.55		5.20
Átlag	4.54	4.92	5.18	5.24	0.11	4.97
C 18:2 zsírsav % az olajban						
N ₀	50.1	49.3	48.7	48.9		49.2
N ₁	50.4	49.3	48.3	48.4	0.7	49.1
N ₂	51.1	50.1	49.0	48.0		49.5
N ₃	50.7	49.6	48.6	48.4		49.3
Átlag	51.0	49.6	48.4	48.2	0.3	49.3
C 18:3 zsírsav % az olajban						
N ₀	6.23	6.45	6.48	6.52		6.42
N ₁	6.08	6.70	6.90	6.95	0.30	6.66
N ₂	6.38	7.40	7.25	7.12		7.04
N ₃	6.48	7.23	7.02	7.25		7.00
Átlag	6.29	6.94	6.91	6.96	0.15	6.78

Megjegyzés: Az SzD_{5%} értékek a sorokra és az oszlopokra azonosak

Az éghajlat-fertőzöttség-tápláltság kapcsolatot elemezve megállapítható, hogy elsődlegesen a tápláltság (ok) által indukált késői érés (okozat) eredményezi a növények fertőzéssel szembeni ellenállását. Élettanilag tekintve ugyanis nem kerül sor kényszerérésre aszályos években sem, hazai körülményeink között a túltáplált parcellákon. Ez irányú megfigyeléseinket az elmúlt két évtized eredményei alátámasztották más növényfajok esetében is, mint pl. a burgonya, napraforgó stb. (Kádár 1980, Kádár et al. 1983, Kádár 1990).

A *Macrophomina* fertőzöttség fellépésének gyakoriságát elsősorban a N táplálás csökkentette (szintenként csaknem felezte), de a P és K hatások is bizonyítottak voltak. Ezért a 3 tényezős kísérlet mind a 64 kezelés-kombinációjának eredményeit közöljük a 4.31 táblázatban. Amint látható, a fertőzés a kontroll parcellákon 100 %-os volt, míg az NPK túltáplálás hatására alig néhány %-osra csökkent. Mivel a *Macrophomina* elleni védekezés jelenleg nem rendelkezik hatékony eszközzel, a táplálás irányításával megkísérelhetjük a növény fogékony-ságát megváltoztatni. Természetszerűen ez a módszer is csak annyiban alkalmazható, amennyiben nem jár együtt termésveszteséggel.

Megemlítjük még, hogy bár a mezei pocok kártétele nem volt nagymérvű a kísérletben, bonitálásaink szerint 2-3-szorosára emelkedett a túltáplált, a betakarítás idején is részben még zöldellő szója-állományban. Ezt az összefüggést statisztikailag is igazolni lehetett. Visszatekintve az elmúlt közel két évtizedes felvételezéseinkre általában megállapítható volt, hogy a rovarkártétel (ha egyáltalán érdemleges volt egy-egy évben) a túltáplált állományban jelentkezett.

A növényi gombakártevők megjelenésére ilyen rendező elvet nem lehetett megállapítani. A tápláltság és a növényi betegségek gyakorisága közötti összefüggés bonyolult, az ok-okozati kapcsolat feltárása nehéz. A tápláltság-hozam-betegségellenállóság összefüggéseit így később a tenyészedény ill. tápoldatos kísérletekben vizsgáljuk, kontrollált körülmények és a mesterséges fertőzés viszonyai között.

A növényi kártevőkkel szemben, úgy tűnik, az állati kártevők mintegy szisztematikusan "kiselejtezik" az abnormálisan túltáplált egyedeket ill. állományt. Feltehetően egy biológiai mechanizmusra utal ez a jelenség. Ismeretes, hogy a túltáplálás során a növényben is a könnyen oldható tápelemek, félkész-termékek jutnak túlsúlyba. Így pl. megváltozik az ásványi N/szervesen beépült N aránya, kismolekulájú cukrok/keményítő aránya, szabad aminosavak/fehérjébe épült aminosavak aránya stb. Az említett termékek nemcsak a növény belsejében, hanem felületén is megjelenhetnek és a tapintásra is ragadósabb növényi felületek vonzzák a szívó- és rágó kártevőket.

A termés mennyiségének és minőségének kérdése azonos fontosságú kategória pl. a cukorrépa termesztése során. A cukorrépa minőségének irányítása elsősorban a nitrogén táplálással történhet. A túlzott N kínálattal ugyanis visszafordíthatatlanul elronthatjuk a minőséget és utólag e káros hatás semmilyen módon nem ellensúlyozható. Ez történt a 70-es években Magyarországon, amikor kétszer annyi répát dolgoztak fel, mint a 60-as évek elején, mégis kevesebb cukrot nyertek. A termelők a répa mennyiségének növelésében voltak érdekeltek és ezt a legkönnyebben a N műtrágyázás növelésével érték el.

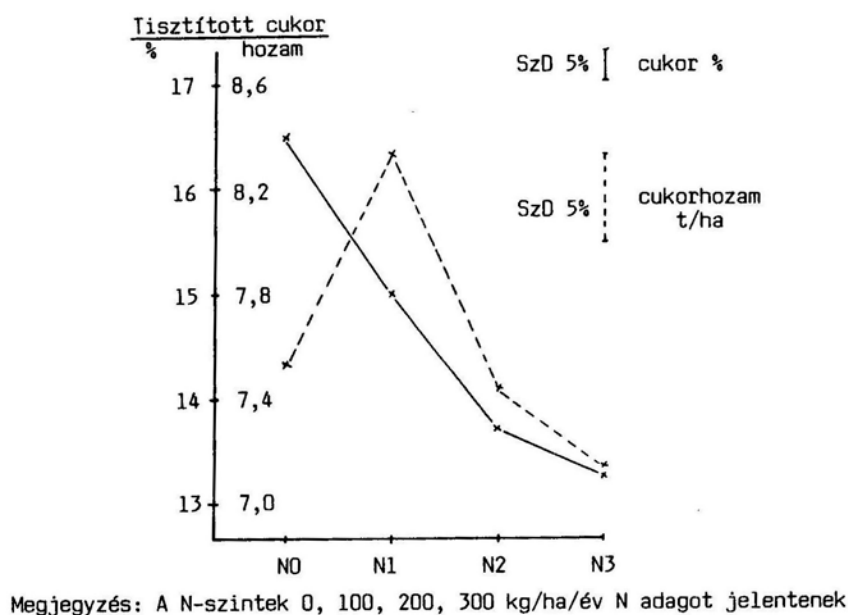
4.31 táblázat: Műtrágyázás hatása a *Macrophomina phaseolina* fertőzöttség %-ára. Szója kísérlet. Nagyhörcsök. Aratáskori fertőzés, 1988.

N	P	K0	K1	K2	K3	Átlag
0	0	100	56	62	60	70
1	0	34	40	20	32	32
2	0	10	18	22	10	15
3	0	18	8	20	12	15
Átlag		41	31	31	29	33
0	1	94	46	38	70	62
1	1	42	34	24	36	34
2	1	16	10	8	10	11
3	1	16	8	18	4	12
Átlag		42	25	22	30	30
0	2	54	72	56	86	67
1	2	32	48	16	12	27
2	2	14	12	20	4	13
3	2	6	0	6	2	4
Átlag		27	33	25	26	28
0	3	82	74	42	42	60
1	3	44	20	14	20	25
2	3	14	12	10	12	12
3	3	6	2	6	4	5
Átlag		37	27	18	20	25
P kezelések átlagában						
N0		83	62	50	65	65
N1		38	36	19	25	29
N2		14	13	15	9	13
N3		12	5	13	6	9
Átlag		36	29	24	26	29
N kezelések átlagában						
P0		41	31	31	29	33
P1		42	25	22	30	30
P2		27	33	25	26	28
P3		37	27	18	20	25
Átlag		36	29	24	26	29

Megjegyzés: SzD_{5%} a 4-4 főátlag között: 8
SzD_{5%} a 16-16 főátlag között (kétirányú táblázat): 16
SzD_{5%} a 64-64 egyedi kezelés között (3 irányú táblázat): 33

A 4.32 ábrán bemutatjuk a N trágyázás hatását a répagyökér tisztított cukor %-ára, valamint cukorhozamára. A kísérlet 8. évében, 1981-ben termesztettünk répát e területen. Legmagasabb cukortartalmat a nitrogénnel 8 éve nem trágyázott talajon kaptunk 16-17 % értékekkel. A 0-60 cm talajréteg $\text{NO}_3\text{-N}$ készlete már e parcellákon is elérte a 100-150 kg/ha mennyiséget. A N trágyázás minden 10 kg/ha adagja átlagosan 0.1 % tisztított cukortartalom csökkenést eredményezett. A hektáronkénti legnagyobb cukorhozamot ugyanakkor az évi 100 kg/ha kezelés adta, a túltrágyázás több mint egy t/ha veszteséget okozott (Kádár és Kiss 1986).

4.32 ábra: A N trágyázás hatása a répa gyökér tisztított cukor %-ára, valamint a cukorhozamára (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhorcsók, 1981)



A 4.33 táblázatban a mák tápláltsága és a betegségek előfordulása közötti kapcsolatokat tanulmányozhatjuk. Korábbi években e területen mákot nem termesztettünk és 1983-ban a környéken nem volt máktábla. Betakarításakor 20-20 gyökeres növényt vettünk az esetleg előforduló gombabetegségek megfigyelése céljából. A betakarítás kézzel történt. A máktokok felnyitásakor parcellánként megállapítottuk a légy által fertőzött máktokok számát, súlyát. A betegségek előfordulásának gyakoriságát az összes növény %-ában fejeztük ki. A K hatása nem volt érdemleges, ezért eredményeinket a NxP kezelések függvényében közöljük.

4.33 táblázat: A mák tápláltsága és a betegségek előfordulásának gyakorisága (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1983)

P-szintek	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	SzD _{5%}	Átlag	%
Magtermés, kg/ha							
P ₀	333	357	372	319		345	100
P ₁	626	710	698	735	128	692	200
P ₂	586	723	667	716		673	195
P ₃	606	674	782	687		687	199
Átlag	538	616	630	614	64	599	
%	100	114	117	114			
Máktokbarkó által károsított tokok %-a							
P ₀	0.7	1.5	1.1	0.6		1.0	100
P ₁	1.4	1.8	1.8	2.3	1.6	1.8	180
P ₂	1.2	3.6	3.0	3.7		2.9	290
P ₃	1.4	5.2	4.2	5.5		4.1	410
Átlag	1.2	3.0	2.5	3.0	0.8	2.4	
%	100	250	208	250			
Máktokbarkó által károsított tok súlya, g/db							
P ₀	0.34	1.03	1.18	0.80		0.84	100
P ₁	2.15	1.88	1.47	1.41	1.4	1.73	206
P ₂	0.79	1.69	1.76	1.56		1.45	173
P ₃	1.69	1.60	1.34	1.75		1.59	189
Átlag	1.24	1.55	1.44	1.38	0.6	1.40	
%	100	125	116	111			
Korompenész fertőzés %-a							
P ₀	42	36	42	48		42	100
P ₁	44	49	48	57	12	49	117
P ₂	45	45	51	50		48	114
P ₃	36	44	44	53		44	105
Átlag	42	44	46	52	6	46	
%	100	105	110	124			

Megjegyzés: Az SzD_{5%} értékek a sorokra és az oszlopokra azonosak

Amint látható, a magtermés az N1 és P1 szinteken (jó-közepes ellátottságon) éri el maximumát. Az NP táplálás további növelése már nem hat igazolhatóan a termésre. A mátkobarkó által károsított tokok %-a viszont a túltáplált P2 és P3 kezelés-kombinációkban nő meg ugrásszerűen. A korompenész fertőzésre a P túltáplálás nincs hatással, a N túlsúly azonban bizonyíthatóan együtt járt a nagyobb fertőzéssel. Összességében tehát elmondható, hogy az NP túltrágyázás nem a termést, hanem a betegségek és kártevők fellépésének gyakoriságát növelte.

4.6 A szabadföldi kísérletek jellege, korlátai

A kísérletek célja különbségek megállapítása az egyes kezelések között. Kezelések alatt érthetjük az összehasonlítható fajtákat, műtrágya adagokat vagy formákat, művelési módokat stb. Mudra (1952) a szántóföldi kísérleteket két nagy csoportra osztja:

1. Azonos körülmények között genetikailag eltérő növényeket, vagy
 2. genetikailag azonos növényeket eltérő körülmények között hasonlítanak össze.
- Az első csoportba a fajtaösszehasonlító kísérletek tartoznak, ahol elsősorban a terméspotenciált vizsgálják. Mivel a termésszint külső tényezőknek is függvénye, a kísérletek két csoportja összefonódhat. Ekkor Wagner (1959) szerint komplex kísérletekről beszélhetünk.

A szabadföldi kísérletek a biológiai módszerekhez tartoznak, mert alapul az élő szervezet reagálása szolgál a külső tényezők hatására. Gyakran azt a növényt kérdezzük, melyre a vizsgálat eredményeit alkalmazni fogjuk. Az egyik legrégebbi és "legtermészetesebb" módszer, mert a vizsgálatok a termeléshez hasonló talajtani, agrotechnikai, éghajlati körülmények között folynak. A már klasszikusnak tekinthető régebbi irodalom (Cserhádi 1900, Lemmermann 1925, Scserba 1954) azonban túlhangsúlyozza a termelési körülményekhez való hasonulás fontosságát. Így pl. Scserba (1954) szerint a szabadföldi kísérlet értékét, minőségét, adatai használhatóságát az alábbi követelmények határozzák meg:

1. Reprezentálja azokat a körülményeket, ahol eredményeit felhasználni kívánjuk. Tehát az adott tájra, talajra, agrotechnikai színvonalra, ill. a várható agrotechnikai színvonalra tipikus legyen.
2. A pontosság követelménye. A véletlen jelenségek miatt mindig csak a valóság közelítését kapjuk. Minél pontosabban végezzük a kísérletet és minél kisebb a hiba, annál megbízhatóbb választ nyerhetünk a feltett kérdésre.

A reprezentativitás, a tipikusság követelménye módosult napjainkban. A fejlődés a mezőgazdaságban is felgyorsult. A szabadföldi kísérletek ugyanakkor nehézkesek és lassúak, csak több éves munkával nyerhetők megbízható információk. Amíg a kísérleti adatok elemzése, kiértékelése és közlése megtörténik, gyakran megváltoznak a fajták és a termesztés egyéb körülményei. A tipikusság követelménye valóban alapvető volt, amikor pl. a kísérletek közvetlenül trágyaigényt határoztak meg a gyakorlat számára. A tapasztalatok általánosításához és átviteléhez a talaj- és növényelemzés nem nyújtott még megbízható alapokat.

E módszer hátrányai között említhető, hogy a vizsgálatok eredményei szigorúan véve csak az adott konkrét talaj és éghajlati viszonyokra korlátozódnak.

Igen részletes talajtani és termesztési jellemzés szükséges ahhoz, hogy a trágyázási vagy meszezési tapasztalat átvihető legyen. Ezért célszerű a szabadföldi kísérlethez más eljárásokat is mint pl. a talajvizsgálat, növényelemzés, esetleg tenyészedény kísérlet stb. felhasználni. Ez a lefedés vagy komplexitás általában csak a kísérleti állomásokon, kutatóintézményekben valósulhat meg. A tudományos igényű szabadföldi kísérletezésnek csak mellékterméke a gyakorlati igények kielégítése, mert átfogóbb célokat követ. A talajtermékenységgel, növénytáplálással, környezetvédelemmel stb. kapcsolatos alapösszefüggések megismerésére irányul.

A trágyahatások megítéléséhez olyan tényezőket is figyelembe kell vennünk, amelyek a talaj tápanyagainak felvehetőségét befolyásolhatják, vagy közvetlenül a termékenységet és az elérhető termékek szintjét behatárolják. Ilyenek lehetnek a termőréteg vastagsága, a talaj szerkezete, vízgazdálkodása, biológiai aktivitása, éghajlat, művelés, agrotechnika, fajta stb. Az említett sokféle tényező szabatos számszerű mérésére gyakran nincs módunk. Feltárhatók és rangsorolhatók azonban azok a tényezők, amelyek nagy valószínűséggel korlátozók lehetnek vagy voltak. Így pl. egy hosszan tartó szárazság, betegség fellépése stb.

Az elmondottak ellenére a legmegbízhatóbb feleletet ma is a szabadföldi kísérlet adhatja arra, hogy

- milyen tápelemre igényes egy talaj, illetve mely növénynél számíthatunk trágya-reakcióra az adott termesztési feltételek között?
- mely trágyaforma és milyen trágyázási mód hatékony, illetve mekkora a gazdaságos trágyaadag nagysága?

A szabadföldi kísérletek előnyeit és hátrányait Roemer (1930), Lemmermann (1930), Bergmann (1958a, b) alapján az alábbiakban foglaljuk össze:

Előnyei:

- A trágyaigény becslésére a legtermészetesebb módszer, mert a kísérlet a "termő talajon" folyik;
- Figyelembe veszi a termőhely olyan tulajdonságait, mint az altalaj minősége, a talaj biológiai aktivitása stb. Ezekre gyakran nem vagyunk tekintettel más módszerek alkalmazása során vagy megváltoztatjuk. (Lásd pl. a talaj roncsolását, kirázását a kémiai analíziseknél.)
- Magában foglalja a talaj-klíma-növény tényezőkomplexumot mint egységes rendszert, és különböző növényfajokkal tesztelhető;
- Tükrözi ezenkívül a talaj vízháztartását (víztároló és vízbefogadó képessége);
- Nem igényel semmiféle laboratóriumi háttérrel, tapasztaltabb gazdának közvetlen helyszíni útmutatást adhat.

Hátrányai:

- A feltett kérdésre csak utólag, az aratást követően kaphatunk választ. Szigorúan véve csak azt mondja meg, mi lett volna helyes a múltban. Nem pedig azt, hogy mi lesz a helyes eljárás (adag) a következő évben;
- Többéves eredményekre van szükség, mert az egyéves hatások bizonytalanok lehetnek. Minden szabadföldi kísérlet legfőbb hiányossága lehet a bizonytalan reprodukálhatóság;

- A talaj felvehető tápelemeinek mennyisége (Mitscherlich féle "b" érték) csak akkor becsülhető meg, ha érdemi terméskülönbségeket mérünk a hiánykezelésekben;
- A jól ellátott talajon sokáig nem tudjuk meg, hogy a talaj tápelemkészlete meddig képes a magas termést biztosítani, mikorra várhatók a trágyahatások. Az esetleges tápelem túlsúly sem azonosítható, csak a hiány;
- A kísérlet eredményei elvileg csak az érintett területre igazak. Részletes talaj- és növényvizsgálatok nélkül a tapasztalatok nem vihetők át, nem általánosíthatók, csak azonos feltételek között igazak;
- Az eredmények csak a vizsgált növényre vonatkoznak (növényfajra, sőt fajtára);
- Erősen időjárásérzékeny. Az időjárási extrémítások mint a téli kifagyás, későbbi fagykárak, jégeső, szárazság, megdőlés az eredményt torzíthatják.

Az itt felsorolt "klasszikus" hátrányokat többé-kevésbé ma már ellensúlyozhatjuk. A talaj- és növényvizsgálatokkal jelentős részben kiküszöbölhetjük a szabadföldi kísérlet hátrányait (eredmények kiterjeszthesége, termőhely tápelemkészlete). Alapos megfigyelésekkel, bonitálásokkal és mérésekkel megbecsülhetők a tenyészidő alatti változások és hatások, időjárás befolyása, a bizonytalan reprodukálhatóság oka. Megfelelő agrotechnika, növényvédelem elkerülhetővé teszi a betegségek fellépését stb.

A félresikerült kísérletek 20-50 %-át Roemer (1931) az időjárási tényezőknek tulajdonítja. Különösen nehéz kísérletezni az extrémebb talajokon. Valóban a kedvezőtlen időjárás esetenként értékelhetetlen eredményre vezet a hazai homoki kísérleteinkben. Ilyen lehet a hosszan tartó szárazság vagy pl. a szélverés, melyek az állomány kipusztulását okozhatják. A termés ill. a trágyahatás a különböző hatótényezők eredőjeként jön létre. Utóbbiak elhanyagolása hamis következtetésre vezethet, amennyiben az ok-okozati összefüggés rejtve marad. Így pl. N hatására nőhet a termés, de mindez együtt járhat fokozottabb rovarkártételekkel. Az eredmény: a trágyahatás elmarad, ill. nem kimutatható aratáskor. Megfelelő növényvédelemmel párosítva azonban a pregnáns N-hatás realizálható, ill. a rovarkártétel felismerésével és számszerű felvételezésével ez a hatás értelmezhető.

Összefoglalva elmondható, hogy ma sem ismerünk a gyakorlatban jobb módszert egy tábla trágyaigényének megállapítására, mint a szabadföldi kísérletet. A talaj tápelemkészletére azonban nem nyújt elégséges információt, drága és nehézkes, tapasztalatai önmagukban nem általánosíthatók. Az alap kutatásokon túlmenően elsősorban a talaj- és növényvizsgálatok kalibrálásában, értelmezésében helyettesíthetetlenek. Adataik csak akkor hasznosulhatnak, ha szakszerűen történt beállításuk, megfelelő pontossággal folytatták le és értékelték azokat. Eltérő esetben sok felesleges munkát, időt és kidobott pénzt jelentenek.

A kritikai észrevételek között talán a legfontosabbnak mégis azt kell említenünk, hogy a kísérletezők egy része nem képes helyesen kérdezni. Tehát a kísérletet megtervezni, a célt világosan megfogalmazni. Gyakran hiányzik a megfelelő kontroll, esetleg együtt adagolja a különböző tápelemeket, azok hatása megbízhatóan el sem különíthető. Az eredmények zavartkeltőek és értelmezhetetlenek. Nemcsak a tudomány számára haszontalanok, de a gyakorlati szaktanácsadásnak sem adhatnak használható irányelveket. Az előrelátás és az áttekintés hiányát semmilyen számítógéppel sem pótolhatjuk később, semmi sem helyet-

tesítheti a gondolkodó embert. Részben ez a kritika sajnos az Egységes Országos Trágyázási Kísérleteket (EOTK) sem kerülheti el. Ezek a 60-as évek végén tervezett és beállított, részben átépített és nehezen áttekinthető adag-arány kísérletek. Az EOTK kísérletekben többé-kevésbé az N és P hatások vizsgálhatók szabatosan (Sarkadi et al. 1984).

4.7 A szabadföldi kísérletek főbb típusai

A szabadföldi kísérleteket különböző szempontok szerint osztályozhatjuk. Pl:

- Tartamjellegük alapján (egyéves, többéves, ún. "örök" kísérletek)
- Parcellák mérete alapján (nagy-, kis- és mikroparcellás)
- Összetételük alapján (egyszerű üzemi próbától a bonyolultabb alapkutató szolgáltató kísérletekig)
- Kísérletsorozatok egységes metodikával, földrajzi-talajtani elvek alapján
- Céljaik szerint (hatásgörbe vizsgálata, új műtrágyák összehasonlítása stb.)

Az agronómiában a fizikai, kémiai, biológiai hatások és kölcsönhatások összegeződnek. Ilyen bonyolult rendszer tudományos vizsgálatánál számszerű összefüggést keresünk a rendszer valamely változója és a termés nagysága között. A változó vagy változók szintjei jelentik a kezelést. Általában más tényezők is befolyásolhatják a termést, ezért szükséges, hogy

- az egyéb befolyásoló tényezők változatlanok legyenek a kísérleten belül és ezen a "standard" szinten végezzük a vizsgálatot,
- vagy kiegészítő kísérlettel határozzuk meg az egyéb befolyásoló tényezők módosító hatását (kölcsönhatásokat) a rendszerben.

A növénytermesztési rendszerekben egyaránt előfordulnak kontrollált és nem kontrollált (pl. időjárási) változók, azon belül diszkrét és folytonosak. Mivel a szabadföldi kísérletek drágák, gyakran megelégszenek olyan egyszerű kísérleti tervekkel, amelyek a rendszer egy elemét sem képesek átfogóan jellemezni. Amint láttuk, a három fő tápelem közötti kölcsönhatások vizsgálatára a 4^3 típusú kísérletre volt szükség 64 kezeléssel, összesen 128 parcellával. Egy ilyen viszonylag komplettebb szabadföldi modell megvalósítását és fenntartását (a hozzá kapcsolódó talajvizsgáló, növényvizsgáló, valamint kiértékelő háttér költségeivel együtt) technikai, pénzügyi lehetőségeink korlátozzák. Erre csak a stabil költségvetéssel rendelkező, alapkutatásokat megvalósító tudományos intézmény vállalkozhat.

Az egyszerű kísérleti tervek nagyon hasznosak lehetnek pl. a gyakorlati szaktanácsadásban. Ott, ahol helyileg hiányzik a megbízható információ egy-egy kérdés megválaszolásához (milyen fajtát vessünk, érdemes-e meszezni, mekkora adaggal stb.). Az egyszerűbb kísérletekben nyert tapasztalat és információ azonban behatárolt. Használhatósága általában limitált marad, mert a jelenségek (változások) nagyobb részét magyarázat nélkül hagyjuk. Már a gyakorlat is azt igényli, hogy egyre több tényezőt kézben tartsunk és optimalizáljunk. Ehhez meg kell ismerni az optimumokat és a kölcsönhatásokat. A talajtermékenységi kutatások nagy tartalékát a feltáratlan kölcsönhatások jelenthetik. Ebből adódóan egyre inkább előnyben részesítjük a látszólag költségesebb, bonyolultabb többletanyag

kísérleteket tudományos vizsgálatainkban, mert képesek az összetettebb jelenségeket tükrözni úgy, ahogy azok a talajban és a növényben, a természetben megnyilvánulnak. Erre az előző fejezetben mutattunk be példákat.

Külön kategóriába soroljuk az egységes kísérleti sémával beállított kísérlet-sorozatokot. Ezek között említhetjük a tájkísérleteket, az EOTK kísérleteket hazánkban, az ún. Geográfiai Hálózat Trágyázási Kísérleteit a Szovjetunióban. Ilyen kísérletek szinte minden országban fellelhetők. A trágyahatásokat e kísérlet-sorozatokban talajváltozatonként, tájegységenként is össze lehet hasonlítani és törvényszerűségeket állapítani meg a tápanyagok (műtrágyák) regionális vagy zonális hatékonyságát illetően.

A szabadföldi kísérlet vizsgálati alapegysége a parcella. A parcellák mérete alapján a kísérlet lehet nagyparcellás, kisparcellás, sőt 1-2 vagy néhány m^2 -es mikroparcellás. A döntő eme felosztásnál nem is a parcellák abszolút mérete, hanem a szokásos üzemi, szabadföldi agrotechnikai alkalmazhatóságának lehetősége. Amennyiben ugyanis az agrotechnika (vetés, művelés, növényápolás) az üzemekben szokásos módon nem alkalmazható, úgy megváltozhat az elérhető termésszint, ill. a vizsgált tényező gazdaságossági megítélése, hatása, esetleg hatásmechanizmusa. Az 1-2 vagy néhány m^2 alapterületű mikroparcellákon nyert terméseket (bár szabadföldön kaptuk) pl. nem számítjuk át hektárra és közvetlenül nem vihetjük át a gyakorlatba az egyéb kísérleti tapasztalatokat sem. A parcellák mérete a kísérleti technika (parcellakombájn, parcellavetőgépek stb.) fejlődésével csökkent. Jelenleg a 20-100 m^2 alapterületű parcellákat nevezzük kisparcelláknak, a 100 m^2 felettieket nagyparcelláknak. Az üzemi kísérletekben a parcella mérete több hektár is lehet, sőt maga a tábla is, ami az üzemi termelés egységét jelenti.

Tartamuk alapján megkülönböztetjük az 1-2 éves rövid idejű kísérleteket, a "vándor kísérleteket" és a többéves tartamkísérleteket. Amikor a talajvizsgálókat kalibráljuk, jól használhatók a vándorkísérletek. Ezek kevés kezeléssel és ismétléssel állnak, de sok helyen évente vagy kétfévente új területen vannak beállítva. A talajvizsgálati adatokat és a termés kapcsolatát elemezve határértékeket alakíthatunk ki, a talajokat (termőhelyeket) csoportosíthatjuk a relatív termés alapján, melyet a trágyázatlan parcellákon kaptunk. Ehhez száz vagy több száz termőhelyen egységes sémával beállított egyszerű kísérletre van szükség, hogy az ellátottsági határértékek megfelelő biztonsággal kijelölhetők legyenek a talajtulajdonságok függvényében (lásd Várallyay korábban ismertetett kísérleteit).

A vándorkísérletekkel szembeni követelmény, hogy a termőhelyek a talajtermékenység (ellátottság) széles skáláját képviseljék. Fontos, hogy a talajtulajdonságok, főként a tápelemellátottsági tartományok eloszlása is megfelelő legyen, hiszen ez képezi a megbízható csoportosítás alapját. A hatást ill. a trágyareakció mértékét ugyanis szembeállítjuk a talajok ellátottsági (termékenységi) szintjével, melyet a felvehető tápelemtartalommal jellemezni kívánunk.

Természszerűleg ezen kísérletekben nem mérik a trágyázás utóhatását vagy kumulatív hatását a termésre, a talaj feltöltődésére vagy kimerülésére. Ezért nem adhatnak útmutatást a talajtermékenység fenntartására vonatkozó tartós beavatkozásokra sem. Arról adnak információt elsősorban, hogy az adott tulaj-

donságú talajt a "jól ellátott" kategóriába sorolhatjuk-e (mert trágyahatást nem mutatott), vagy a "gyengén" ellátottba, mert a trágyahatások (terméstöbbletek) igen erősek voltak. Hasonló módon a diagnosztikai célú növényanalízis adatai is kalibrálhatók a trágyahatások alapján. A vándorkísérletek leegyszerűsítve tehát tulajdonképpen hatásgörbe kísérletek, ahol az eltérő ellátottságot nem a tartós trágyázási variánsok teremtik meg, hanem az eltérő tápelemellátottságot reprezentáló termőhelyek.

4.8 A szabadföldi kísérletek jövője

Az emberi tevékenység egyre drasztikusabb beavatkozást jelent a környezetbe, különösen a talaj-növény rendszerbe. Egyre mélyebben szeretnénk megismerni a növénytáplálás és a talajtermékenység alakító tényezőit. Egyre kevésbé alkalmas az empiria a termelési folyamatok irányításához a mezőgazdaságban is. A szabadföldi kísérletek felett nem járt el az idő, sőt egyre inkább nélkülözhetetlenné válnak. Nemcsak az agrokémia egyéb módszereivel kiegészítve (tenyészedény, liziméter, laboratóriumi kísérletek, talaj- és növényanalízis) nyújthatnak értékes adatokat. Egy sor kérdésre választ csak a szabadföldi kísérletekben nyerhetünk a jövőben is. Így pl. a talajművelési rendszerek, növényápolási eljárások, vetésforgók trágyázása és hatásuk a talaj termékenységre, fajtaprodukciós vizsgálatok, valamint a gépesítés és kemizálás alapproblémái a jövőben is csak szabadföldi kísérletekben tisztázhatók.

Az újabb kori ökológiai és környezetvédelmi kutatások bázisául szintén a szabadföldi tartamkísérletek szolgálhatnak. Máris számos interdiszciplináris nemzetközi kutatási program indult (OTKA, G-10 stb.), melyek kimunkálása feltételezi a hazai tartamkísérletek hasznosítását és továbbfejlesztését. A közeli jövőben egyre inkább tért nyerhetnek a regionális és az egész Földre kiterjedő globális kutatások nemzetközi koordináció keretében. A földi életet fenntartó rendszert úgy őrizhetjük meg, ha figyelemmel kísérjük változását (éghajlat, víz, talaj, növényzet, toxikus anyagok forgalma stb.) és megértjük működését.

A rothamstedi kísérletekben megőrizték az elmúlt 150 év alatt vett talaj- és növényminták egy részét. Azokat elemezve tanulmányozható volt pl. a Cd terhelés újkori exponenciális növekedése a talajban és a növényben (Johnston 1988). Az emberi tevékenység hatására lassan megváltozhat az éghajlat, a levegő CO_2 , NH_3 és toxikus elemeinek tartalma stb. A lassú de hosszú távú folyamatok sokáig rejtve maradnak előttünk. Ezt a jelenséget a "láthatatlan jelen" (invisible present) fogalmába sorolják az ökológusok.

A kutatásnak és a kutatónak számolnia kell azzal, hogy a biológiában a jelenségek összefüggenek (komplexek), kumulatív jellegűek és gyakran késleltetetten jelennek meg. Vannak másodlagos és ritkán előforduló történések. Egyre inkább tért hódít az a nézet, hogy még a 10-15 éves vizsgálatok sem elégségesek a ritka jelenségek kimutatására, a változások megbízható regisztrálására. Ehhez sok évtizedre, esetleg évszázadok (generációk) szisztematikus munkájára van szükség. A vizsgálatok értéke hatványozottan nőhet az idővel.

A magyar agrokémia és agronómia művelőinek tudatában kell lenniük azzal, hogy szabadföldi tartamkísérleteink nélkül sikerrel nem oldhatók meg sem a

mezőgazdaság, sem a környezetvédelem jelenlegi és jövőbeni problémái. Nélkülük nem csatlakozhatunk olyan nemzetközi programokhoz, mint pl. "Az ember és bioszféra" UNESCO-UNEP interdiszciplináris kutatások, vagy egyéb hosszú távú globális ökológiai vizsgálatokhoz (Long Term Ecological Research, LTER program). A koncepciózus, jól megtervezett és fenntartott tartamkísérleteink ugyanúgy a nemzeti vagyoni részét képezik, mint pl. múzeumaink vagy műemlékeink. Megőrzésük és továbbvitelük mindnyájunk feladata és erkölcsi kötelessége a jövő generációi számára.

4.9 Irodalom

- ÁNGYÁN, J. - MENYHÉRT, Z. (1988): Integrált alkalmazkodó növénytermesztés. GATE-KSZE, Gödöllő-Szekszárd.
- BARANYAI, F. - FEKETE, A. - KOVÁCS, I. (1987): A magyarországi talajtápanyag vizsgálatok eredményei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- BAULE, B. (1953): Über die Weiterentwicklung der Ertragsgesetze von Liebig und Mitscherlich. Z. Acker- u. Pflanzenbau. 96:173-186.
- BERGMANN, W. (1958a): III. Methoden zur Ermittlung mineralische Bedürfnisse der Pflanzen. Handbuch der Pflanzenphysiologie IV. 37-89. Springer Verlag. Berlin.
- BERGMANN, W. (1958b): Die Ermittlung der Nährstoffbedürftigkeit des Bodens. Handbuch der Pflanzenphysiologie 4:867-942. Springer Verlag. Berlin-Göttingen-Heidelberg.
- BÉNDEK, GY. - KÁDÁR, I. (1988): Influence of soil nutrient levels on harvest yield and malting quality of brewing barley. J. Inst. Bres. 96:375-378.
- COCHRAN, W.G. - COX, G.M. (1950): Experimental Design. J. Wiley and Sons. New York.
- CSATHÓ, P. - KÁDÁR, I. (1990): Adatok a foszfor és kálium feltöltő-fenntartó műtrágyázáshoz. Agrokémia és Talajtan. 39:111-126.
- CSERHÁTI, S. - KOSUTÁNY, T. (1887): A trágyázás alapelvei. Országos Gazdasági Egyesület Könyvkiadó. Budapest.
- CSERHÁTI, S. (1900): Általános és különleges növénytermelés. Czéh Sándor-féle könyvnyomda. Magyar-Óvár.
- CSERNÍ, I. (1982): Kukorica és rozs foszforműtrágyázása lepelhomok talajon. Kandidátusi értekezés. MTA TMB. Budapest.
- DELLER, B. (1988): 100 Jahre Bodenuntersuchung in VDLUFA. Bedeutung, Probleme, Erfolge. VDLUFA-Schriftenreihe. 28. Kongr. 191-213.
- FISCHER, R.A. (1951): The Design of Experiments. VI. Ed. Oliver and Boyd. Edinburgh.
- GAMAL-EL-DIN, H. - KÁDÁR, I. - GULYÁS, F. (1976): Data of the Effect on Increasing Mineral Fertilizers Doses and Combinations on Cellulolytic Activity of Soil. In: Soil Biology and Conservation of the Biosphere. 229-232. (Szerk: J. Szegi) Akadémiai Kiadó. Budapest.
- GUIDE TO THE CLASSICAL FIELD EXPERIMENTS (1984): Rothamsted Experimental Station. Lawes Agric. Trust. Harpenden.

- GULYÁS, F. - KÁDÁR, I. (1984): Effect of NPK fertilization and Mg, Zn, Cu treatment on the mineralization of cellulose in slightly humic carbonate sandy soils. In: Soil Biology and Conservation of the Biosphere. 85-94. (Ed: J.Szegi) Akadémiai Kiadó. Budapest.
- GYÖRFFY, B. (1975): Vetésforgó - Vetésváltás - Monokultúra. Agrártudományi Közl. 34:61-81.
- JOHSTON, A.E. (1988): Benefits from Long-Term Ecological Research. Some Examples from Rothamsted. In: Long-Term Ecological Research - A Global Perspective. 288-312. Final Report of the International Workshop. UNESCO-MAB. Berchtesgaden. BRD.
- KÁDÁR, I. (1974): A foszforműtrágyázás hatékonysága különböző foszforellátottságú talajokon. A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. 141-147. Keszthely. NEVIKI.
- KÁDÁR, I. - ELEK, É. - KAZÓ, B. - VARGA, Gy. (1976): Viljanje vozrastajuscih doz mineral'nyh udobrenij na pocvu is rasztenija. V.th. Cong. Jug. Soc. Soil Sci. 409-416. Sarajevo.
- KÁDÁR, I. - ELEK, É. (1977): Műtrágyázás hatása a kukorica makro- és mikroelem felvételére. A mező-gazdaság kemizálása. Ankét. 71-81. Keszthely. NEVIKI.
- KÁDÁR, I. (1978): Összefüggések a talaj termékenysége és tápelemellátottsága között. Kandidátusi disszertáció. MTA TMB. Budapest.
- KÁDÁR, I. (1980): A kálium jelentősége földművelésünkben és egy csernozjom talaj termékenységeiben. Agrokémia és Talajtan. 29:577-594.
- KÁDÁR, I. - ELEK, É. (1980): A burgonya tápláltsági állapotának kontrollja levélanalízissel. Növénytermelés. 29:413-420.
- KÁDÁR, I. (1983): Az egyoldalú műtrágyázás hatása néhány szántóföldi növény betegségellenállóságára. Agrokémia és Talajtan. 32:432-436.
- KÁDÁR, I. - VÖRÖS, J. - LÉRÁNTNÉ, Sz.J. (1983): A talaj tápanyagellátottságának hatása a napraforgó termésére, ásványi tápelem-tartalmára és betegségellenállóságára. XXXV. Georgikon Napok. "A talajtermékenység fokozása" I. 329-337. Keszthely.
- KÁDÁR, I. - CSATHÓ, P. - SARKADI, J. (1984): A szuperfoszfát tartamhatásának vizsgálata őszi búza monokultúrában. I. Talaj-vizsgálati és szemtermés eredmények. Agrokémia és Talajtan. 33:375-390.
- KÁDÁR, I. (1985): Ütijelentés az Egyesült Államokban tett tanulmányútról. Kézirat. MTA TAKI.
- KÁDÁR, I. - CSATHÓ, P. (1985): A szuperfoszfát tartamhatásának vizsgálata őszi búza monokultúrában. II. Fajlagos hatékonyság, tápelem-tartalom és felvétel, a P-előregedés vizsgálata, fenológiai megfigyelések. Agrokémia és Talajtan. 34:97-129.
- KÁDÁR, I. - KISS, E. (1986): Hogyan műtrágyázzuk a cukorrépat? A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. 197-202. Keszthely. NEVIKI.
- KÁDÁR, I. - NÉMETH, T. - KOVÁCS, G.J. (1987): A N-műtrágya érvényesülése és a NO₃ kilúgzása meszes csernozjom talajon. A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. 101-107. Keszthely. NEVIKI.

- KÁDÁR, I. - VASS, E. (1988):Fertilizing and liming sunflower on acid sandy soil. Proc. 12th Int. Sunfl. Conf. 242-246. Novi Sad. Jugoslavia.
- KÁDÁR, I. (1989):Kritikusan a műtrágyázásról. Magyar Tudomány. 7-8. 613-616.
- KÁDÁR, I. - CSATHÓ, P. - SARKADI, J. (1989):A talaj PK ellátottsága és a PK trágyázás hatékonysága közötti összefüggés meszes csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. 38:78-82.
- KÁDÁR, I. (1990):A növény táplálás hatásainak megismerése a termés fokozására és a betegség-rezisztenciára. OTKA jelentés. AKAPRINT. Budapest.
- KÁDÁR, I. - SZ. NAGY, Gy. (1990): Adatok a tavaszi árpa ásványi összetétele, hozama és betegségellenállósága össze-függéséhez. Agrokémia és Talajtan. 39:91-102.
- KÁDÁR, I. - CSATHÓ, P. (1991):Újabb adatok a foszfor és kálium feltöltő-fenntartó műtrágyázáshoz. Agrokémia és Talajtan. 40:109-118.
- KLECSKOVSKIJ, V.M. - PETERBURGSZKIJ, A.V. (1964):Agrohimija. Izd. "Kolosz". Moszkva.
- KOVÁCS, I. - KOVÁCS, G. (1987):Növényvédelem és agrokémia. In: Sárközy P. (szerk.). Mezőgazdaság számokban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- LATKOVICS, Gyné (1967):NPK műtrágyahatások vizsgálata kukorica monokultúrában. In: Trágyázási Kísérletek 1955-1964. 192-207. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- LÁNG, I. (1973):Műtrágyázási tartamkísérletek homoktalajokon. Akadémiai Doktori Disszertáció. Kézirat. MTA TMB. Budapest.
- LÁSZTITY, B. - KÁDÁR, I. - GULYÁS, F. (1981):Műtrágyázás hatása néhány talaj cellulózbontó aktivitására. Agrokémia és Talajtan. 30:91-98.
- LEMMERMANN, O. (1925):Die Bestimmungsmethoden des Düngungsbedürfnisses des Bodens. Z. Pflanzenernähr. Düng. und Bodenkunde. 4:39-52.
- LEMMERMANN, O. (1930):Über die heutigen Laboratoriums-Methoden zur Bestimmung des Düngungsbedürfnisses der Böden. Pflanzenern. Dgg. u. Bodenkunde. B 9. 1-17.
- LIEBIG, J. von (1840):Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. 9. Auflage. Vieweg und Sohn. Braunschweig. 1876.
- LUKÁCS, D. (1988):A napraforgó olajtartalmának alakulása az ország különböző tájegységein. In: Minőség, hatékonyság, jövedelmezőség. III. A Magyar Mezőgazdaság melléklete. 1988. aug. 7-10.
- MITSCHERLICH, E.A. (1929):Gefäss- und Feldversuch als Grundlage für die zweckmässige Düngung. Super-phosphat. 5:11-26.
- MITSCHERLICH, E.A. (1930): Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens. 3. Aufl. P. Parey Verlag. Berlin.
- MUDRA, A. (1952):Einführung in die Methodik der Feldversuche. S.Hirzel Verlag. Leipzig.
- Sz. NAGY, Gy. - KÁDÁR, I. (1990):Adatok az uborka ásványi összetétele, hozama és lisztharom ellenállósága összefüggéséhez. Agrokémia és Talajtan. 39:74-90.
- NAGY, L. (1990):Fejér megye NPK mérlege 1985-88. évekre. Diplomadolgozat. Kézirat. Pannon Agráregyetem. Keszthely.

- NÉMETH, T. - KOVÁCS, G.J. - KÁDÁR, I. (1988): A NO_3^- , SO_4^{--} és a sóbemosódás vizsgálata műtrágyázási tartamkísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. 36-37:109-126.
- RADICS, L. (1989): Agroökológiai tényezők hatása a szántóföldi gyomnövényzetre. Kandidátusi értekezés tézisei. MTA TMB. Budapest.
- ROEMER, Th. (1930): *Der Feldversuch*. 3. Aufl. Deutsche Landw. Ges. Berlin.
- ROEMER, Th. (1931): Die Bestimmung des Fruchtbarkeitzustandes des Bodens durch den Feldversuch. 567-599. In: *Handbuch des Bodenlehre von BLANK*. 8:567-599. Springer Verlag. Berlin.
- SALMON, S.C. - HANSON, A.A. (1970): A mezőgazdasági kutatás elméleti és gyakorlati problémái. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- SARKADI, J. - KÁDÁR, I. (1974): The interaction between phosphorus fertilizer residues and fresh phosphate dressings in a chernozem soil. *Agrokémia és Talajtan*. 23:93-100. Suppl.
- SARKADI, J. (1979): Az intenzív tápanyagellátás hatása a talaj termékenységére. In: *Az intenzív műtrágyázás hatása a talaj termékenységére*. MTA TAKI. Ankét. Budapest.
- SARKADI, J. - BALLA, ANÉ - MIKLAYNÉ, T.E. (1984): Műtrágyázási tartamkísérletek eredményei mezőföldi mészlepedékes csernozjom talajon. I. N- és P-műtrágyahatások az őszi búza kísérletekben. *Agrokémia és Talajtan*. 33:355-374.
- SCSERBA, SZ.V. (1954): Metodika polevogo opüta sz udobrenijami. In: *Agrohímicseszkie metodü isszledovanija pocsv*. 389-445. Izd. Akad. Nauk. SzSzsZR. Moszkva.
- SNEDECOR, G.W. (1948): *Statistical methods applied to experiments in agriculture and biology*. Ames. 4. Ed. Iowa State College Press. Iowa.
- SZABADVÁRY, F. - SZÓKEFALVY, N.Z. (1972): A kémia története Magyarországon. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- TISDALE, S.L. - NELSON, W.L. (1966): A talaj termékenysége és a trágyázás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- TRÁGYÁZÁSI KÍSÉRLETEK 1955-1964. (1967): Szerk: Sarkadi János. Akadémiai Kiadó. Budapest. ÚJVÁROSI, M. (1973): Gyomirtás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- UNGER, H. (1960): Der Zellulosetest eine Methode zur Ermittlung der zellulolytischen Aktivität des Bodens in Feldversuchen. *Z. Pflanzenernährung, Düng. Bodenk.* 91:45-52.
- VÁRALLYAY, Gy. (1950): A műtrágyázást irányító kísérletek és vizsgálatok. *Agrokémia*. 2:287-302.
- VÁRALLYAY, Gy. (1954): Az egyszerű talajvizsgálatoktól az üzemi talajtérképezésig. *Agrokémia és Talajtan*. 3:289-298.
- WAGNER, F. (1959): *Die Technische Durchführung von Feldversuchen*. Paul Parey Verlag. Berlin und Hamburg.
- WOLFF, E. (1864): Entwurf zur Bodenanalyse. *Die Lanw. Versuchst.* 6:1-141.

5. A TALAJVIZSGÁLATOK ALAPELVEI ÉS MÓDSZEREI

"Aki egy cső kukorica helyett kettőt tud termelni, többet tett, mint az összes politikus együttvéve"

JONATHAN SWIFT

A növényi tápanyagok alapvető forrása a talaj. A trágyázás ill. műtrágyázás hatása általában kedvező mind a talajra, mind a termesztett növényre, amennyiben a ténylegesen hiányzó tápelemeket pótoljuk. A szakszerűtlen alkalmazás esetén azonban nemcsak a műtrágyázás költségei nem térülnek meg, hanem súlyos károk következhetnek be és a műtrágyák a környezetszennyezés egyik formáját jelenthetik. Az előző fejezetben erre is láthattunk példákat. Az elmondottak, ill. a műtrágyázás negatív kísérő jelenségei táplálják a társadalom félelmét a műtrágyákkal szemben.

A tudomány kétségtelenül még nem ismer teljes mélységében minden, a növényi táplálkozással összefüggő folyamatot. Képes azonban kijelölni azokat az alapvető eljárásokat és szabályokat, amelyek betartásával a káros következmények elkerülhetők, ill. a kívánt hatások nagy valószínűséggel elérhetők. Elsősorban tudnunk kell, hogy adott termőhelyen mennyi tápanyagot biztosít a talaj a növény számára. Ezután meg kell állapítanunk, hogy milyen módon pótoljuk az esetlegesen hiányzó tápelemeket.

A talajvizsgálatok alapvetően járultak hozzá e század derekától a műtrágyák helyes elosztásához, a tápanyagokkal (elsősorban P és K) gyengén ellátott talajok csökkenéséhez a világ fejlett országaiban. Említettük már az ausztriai példát, ahol 1954-ben a vizsgált minták 83 %-a, míg 1973-ban 25 %-a volt rosszul ellátott foszforral. Látványosan összekapcsolódott a műtrágyázás elterjedése a talajvizsgálatokkal is. A trágyázási szaktanácsadás biztonságát kétségtelenül növelhetik a jól kalibrált és értelmezett talajvizsgálati adatok. Amint pl. Bergmann (1968) és Szabolcs (1968) is szemléletesen bemutatta, minden fejlett mezőgazdasággal rendelkező országban együtt nőtt a rutinvizsgálatok száma a műtrágyafelhasználás volumenével.

A talajvizsgálatok ma már pótolhatatlan segédeszközei a modern mezőgazdaságnak. Segítségükkel alapvető információk nyerhetők a talaj tápanyagállapotáról, tápanyagtartalmának változásáról, csökkenéséről vagy növekedéséről egy hosszabb gazdálkodási időszakot tekintve. Képesek a talajban eredetileg fennálló vagy a termelés során előálló anomáliák felderítésére. Segítséget nyújthatnak az újonnan termelésbe vont területek termékenységeinek megítélésében, meliorációs beavatkozások megalapozásában. Megóvhatnak a hibás technológiák alkalmazásától stb.

Mint láttuk, a természeti erőforrásaink jelentős hányadát képező talajok racionális hasznosítása végső soron meghatározza a növénytermesztés és az egész mezőgazdaság teljesítőképességét. Ebből adódóan a talajokról való gondoskodás nemzetgazdaságunk alapvető feladatai közé tartozik. A jelenkori intenzív talaj-

használat igen rövid idő alatt megváltoztathatja a művelt talajok tulajdonságait. Megfelelő kontroll hiányában ezek a változások mint pl. az elsavanyodás, tápelem hiány vagy túlsúly, ill. egyéb, a termékenységet gátló tényezők kialakulása a termések csökkenését okozhatják. A talajvizsgálatok kialakulása hosszú történeti folyamat eredménye.

A talajvizsgálatok céljai, módszerei többfélék lehetnek. A továbbiakban elsősorban a talajok tápanyagállapotát jellemezni hivatott tápanyagvizsgálatokkal foglalkozunk. Eltekintünk a talajok mechanikai, fizikai, biológiai vizsgálatától, ill. csak annyiban térünk ki azokra, amennyiben a tápanyagvizsgálatokat, azok értelmezését érintik.

5.1 A talajvizsgálatok (TVG) kialakulása, története

A múlt század elején egyértelművé és bizonyítottá vált az ásványi elemek szükségessége a növényi anyagcserében. Ezt követően elsősorban Davy (1814), Liebig (1840) és Sprengel (1845) kutatásai irányították a figyelmet a talaj tápanyagállapotára, mint termékenységének egyik alapvető elemére. Az 1800-as évek közepe óta a növénytáplálási, talajtermékenységi kutatások középpontjában áll a talajok tápanyagállapotának vizsgálata az okszerű trágyázás meglapozása céljából.

Kezdetben a munkákat megalapozatlan optimizmus kísérte. A kutatók azt hitték, hogy a kémiai talajelemzés segítségével a talajok tápanyagállapota és ezzel termékenysége, valamint trágyaigénye egyszerűen megállapítható. Az erős savakkal (Liebig pl. koncentrált sósavat ill. királyvizet is javasolt), lúgokkal végzett elemzések azonban nem vezettek a várt eredményre. Amint utóbb Bergmann (1958) megjegyzi, a csalódás és a kiábrándulás oka abban keresendő, hogy semmi-féle összefüggést nem találtak a talaj tápelemkészlete és a trágyahatás között. Így pl. egy 2 %-os összes káliumot tartalmazó talaj kifejezetten K-igényesnek mutatkozott, míg a 0.5 % K-ot tartalmazó "marsch" talaj a K-trágyázásra alig reagált.

A sikertelenség okai rövidesen ismertté váltak az egyre szélesebb körű trágyázási kísérletezés és a hozzá kapcsolódó talajanalízisek nyomán. A múlt század végén, e század elején egyre szabatosabban különböztetik meg az összes vagy nyers tápelemkészletet a könnyen oldható és a növény számára "felvehető" tápelemformától, a "talajerőtől" (Cserhádi és Kosutány 1887, Maercker 1891, Opitz 1907, Pilz 1908). A gyakorlati alkalmazás terén azonban a Liebig-i időktől az 1920-as évekig nem történt áttörés vagy lényegi változás. A gyökér és a talaj közötti kölcsönhatások, ill. a tápanyagfelvétel mechanizmusa jórészt még rejtve maradt a kutatók előtt. A talajvizsgálati metodológia és koncepció azért ha lassan is, de fejlődött.

Az orosz talajtani iskola egyik klasszikusa Gedrojc (1872-1932) pl. az általános talajkémiai elméletet fejleszti tovább, kidolgozza a talajok adszorpciós komplexumáról szóló tanítását. Munkája látszólag nem kapcsolódik közvetlenül a talajtermékenység gyakorlati kérdéseéhez, a talajok tápanyagszolgáltató képességét becslő talajvizsgálatokhoz. Tágabb értelemben azonban Gedrojc tevékenysége segített jobban megérteni a talajban lejátszódó tápanyagmozgás jelenségeit.

Ahogy később maga a szerző is nyilatkozott (In: Kompaneec 1976) e munka abból a törekvésből fakadt, hogy megvilágítson két tisztán gyakorlati problémát, a lúgos, ill. szikes és savanyú, erősen podzolos talajok javítását.

Visszatérve a felvehetőség kérdésére említésre méltó Dyer (1894) munkája, aki a növény számára "felvehető vagy valószínűleg felvehető" ásványi elemek meghatározásával foglalkozik. Már korán megkísérelték a talajoldat tápelemtartalmát is figyelembe venni és a talajerő kritériumaként a vízzoldható tápelemtartalmat tekinteni (Burd 1918, Wrangel 1926). Ezek a próbálkozások ekkor még nem jártak sikerrel. Bizonyos elemek ugyanis, mint pl. a foszfor csak nyomokban volt a talajoldatban annak ellenére, hogy a növények nagy mennyiségben asszimilálják. Az akkori metodológia technikailag sem tette lehetővé a talajoldatok megbízható elemzését.

A későbbi részletes kutatások bizonyították, hogy a talajoldat dinamikus egyensúlyi állapotot tükröz az oldat és a talaj szilárd fázisa között. Az egyensúlyi állapot a környezeti tényezők mint az időjárás, talajtulajdonságok stb. függvénye. A növények gyökerei fajtól, sőt fajtától függően is képesek a vízben nem vagy nehezen oldódó tápanyagfrakciók egy részét is felvenni. Századunk 30-as éveitől kezdve bizonyos sikerekről számolhatnak be az amerikai új kontinensen (Bray 1929, 1944, Truog 1920, Spurway 1932). A második világháborút követően a kémiai talajvizsgálat egyre inkább elfogadottá válik és gyorsan terjed a gyakorlati rutinvizsgálatokban.

A kutatások ebben az időben felgyorsulnak. Újabb és újabb módszerek dolgoznak ki elsősorban a talajok P és K ellátottságának megítélésére. Gyakran azzal a kimondott céllal, hogy minél jobban utánozzák a növényi tápanyagfelvételt és közelítően annyi tápelemet vonjanak ki kémiai úton, mint amennyit a növények felvehetnek. Majd rövidesen általánossá válik az a vélemény, hogy bármely módszer annyit ér, amennyire adatait növénykísérletben "kalibrálták", tesztelték. Tehát a kémiai elemzés adatainak élettani értelmet kell adni. Az a fontos, hogy a talajból kémiai úton extrahált tápelem mennyisége arányosan kövesse a növény által felvett mennyiségeket, tehát jól jellemezze az adott talaj tápanyagszolgáltatását, -ellátottságát.

Az Egyesült Államokban legsikeresebbnek Bray (1929, 1944) kísérletei bizonyultak, aki a fluoridot alkalmazta abból a célból, hogy meggátolja a talaj nyers, a növény számára közvetlenül felvehetetlen foszfát oldatba kerülését. Amint a talaj P-frakcionálás újabb keletű eljárásai során kiderült, a "fluorid oldható" foszfortartalom a talaj legérzékenyebb P-frakciója, amely trágyázás hatására igen erősen nő. Grant és Hanway (1968) szerint a fluorid olyan oldószer, amely a semlegetől a savanyú talajokig biztosítja a legkönnyebben oldódó P-frakció kimutatását.

5.2 A talajok P-állapota és a P-műtrágyázás kapcsolata

A talajok tápelemeinek frakcionálása költséges eljárás, ezért csak a kutatás alkalmazza. A talaj-P frakcionálás módszereit a hazai irodalomban Füleký (1974) ismertette. A legelterjedtebb a Chang és Jackson (1957) által kidolgozott eljárás, melyben a fluorid oldható I. frakcióval jellemzik a gyengén kötött foszfort, a II.

frakció az Al és a Ca, Mg foszfátok egy részét, a III. frakció a Fe foszfátokat, míg a IV. a nehezen oldható Ca foszfátokat hivatott "kimutatni".

A korábban ismertetett szabadföldi kísérletünkben, ahol a különböző korú műtrágya-P talajbani átalakulását és előregedését követtük nyomon (5.1 táblázat), Fülek talaj-P frakcionálást végeztünk az egyes parcellák P-állapotának jellemzésére az említett Chang és Jackson módszerrel. Az előzőekben bemutatott talajvizsgálati adatok igazolták, hogy a talajba jutott P műtrágya növeli a talaj könnyen oldható P készletét és az így kialakult készlet ill. ellátottsági szint huzamosabb ideig fennmarad.

5.1 táblázat: A régi és az új P trágyázás hatása a talaj szerves P frakcióira (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, ppm P, 1971) (Fülek és Kádár 1975)

Régi P ₂ O ₅ kg/ha/év	Új P-szintek P ₂ O ₅ kg/ha/év 1970-71. között				SzD ₅ %	Átlag	%
	0	40	80	120			
Chang-Jackson I. frakció							
0	1.9	3.0	4.7	5.6	1.8	3.5	100
480	3.7	5.3	6.5	7.5	1.8	5.7	151
Átlag	2.8	4.2	5.6	6.6	1.3	4.6	
%	100	150	200	236	46		
Chang-Jackson II. frakció							
0	22	27	33	38	7	30	100
480	31	40	44	46	7	40	133
Átlag	26	34	38	42	5	35	
%	100	126	145	158	19		
Chang-Jackson III. frakció							
0	7.8	11.0	9.9	8.9	4.2	9.4	100
480	9.5	10.6	13.5	13.6	4.2	11.8	125
Átlag	8.6	10.8	11.7	11.2	3.0	10.6	
%	100	126	136	130	35		
Chang-Jackson IV. frakció							
0	430	453	448	442	18	443	100
480	431	454	455	456	18	449	101
Átlag	430	454	452	449	13	446	
%	100	105	105	104	3		

A készlet és az állapot fogalma között itt célszerű különbséget tenni. A P-készlet a talaj P tartalmának a növény rendelkezésére álló és valamilyen oldószerrel kioldható mennyiségéről ad tájékoztatást mint mennyiségi mutató. A P állapot megmutathatja a dolog minőségi oldalát. Vagyis a különböző oldékonyságú P formák mennyiségének és egymáshoz való arányának alakulását is. Vizsgálati eredményeinket az 5.1 táblázatban, ill. az alábbiakban foglaltuk össze (Fülek és Kádár 1975):

1. A növekvő adagú friss P trágyázás igen érzékenyen tükröződik az első két P frakcióban. A friss P hatására az I. frakció mennyisége 2-3-szorosára emelkedik. A nem trágyázott talajon e frakció mennyisége elhanyagolható.
2. A II. frakció abszolút mennyisége egy nagyságrenddel meghaladja az I. frakció mennyiségét a trágyázatlan talajon. A trágyázás szignifikáns növekedést eredményez, itt jobban tükröződik a régebbi P hatása mint az I. frakcióban.
3. A vasfoszfát-frakcióként emlegetett III. frakcióban ezen a meszes talajon nem lehetett bizonyítható változásokat kimutatni. E frakció abszolút mennyisége nem volt jelentős a talajban.
4. A nehezen oldható kalciumfoszfátok mennyisége, a IV. frakció, dominált az ásványi P készletben. A műtrágyázás hatására ez a frakció lényegesen nem változott.

A szervesetlen foszfátfrakciók és a könnyen oldható P összefüggéseit vizsgálva megállapítható volt, hogy az AL és az Olsen módszer az első két frakcióval mutatott szoros kapcsolatot. A lineáris kapcsolat szorosságára utaló "r" értékek 0.63-0.96 között változtak és minden esetben 0.1 %-os szinten igazolhatóak voltak. Esetenként a III. és IV. frakcióval is fennállt a kapcsolat, különösen a P-ral nem, vagy gyengén trágyázott talajon. A könnyen oldható P-tartalomnak a terméssel, ill. a növényi P felvétellel való szoros összefüggése arra utalt, hogy a növényi felvétel is azonosíthatóan összeköthető az egyes frakciókkal. A jól ellátott feltöltött talajokon tehát az I. + II. frakciók játszhatnak döntő szerepet, míg a gyengén ellátott talajokon a III. és a IV. frakció nehezebben oldható foszfátjai is szerephez juthatnak a növény táplálásban (5.1 táblázat).

Az 5.1 táblázatban bemutatott kísérletben 1971 őszén parcellafelezést végeztünk és a különböző P ellátottságú parcellákon (melyet a megelőző 10 év trágyázási gyakorlata alakított ki) egyszeri feltöltő P trágyázást hajtottunk végre 960, ill. egy esetben 1920 kg/ha P_2O_5 adaggal. Amint az 5.2 táblázat adataiból látható, sikerült egyszeri művelettel és egy év alatt "jó" ellátottságúvá tenni a korábban gyengén ellátott és ezért gyenge termékenységgű parcellákat. A vizsgált 2 év alatt összesen 5.2 t/ha búza szemterméstöbbletet kaptunk a kontroll talajon.

Figyelembe véve, hogy 3-4 kg szemterméstöbblettel már megtérülhet 1 kg P_2O_5 felhasználása, a közel 1000 kg hatóanyaggal végzett feltöltés már az első 2 év alatt kifizetődött a kontroll parcellákon. Emellett még igen jelentős és hosszán tartó utóhatásokkal is számolhatunk ezen a talajon, amint arra az előző fejezetben utaltunk. A könnyen oldható P tartalom 1972 őszén többszörösére növekedett és igazolta a búza számára kedvező ellátottsági szint elérését a talajban. A melioratív P műtrágyázás alkalmazhatóságának agrokémiai alapja a talaj P ellátottságának mértéke, tehát egy minimumban lévő tényező megszüntetése lehet.

5.2 táblázat: A régi és az új P-trágyázás hatása a talaj szervesetlen P frakcióira (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, ppm P, 1971) (Fülek és Kádár 1975)

Régi P ₂ O ₅ kg/ha/év	Feltöltő P	Új P-szintek P ₂ O ₅ kg/ha/év 1970-71. között				SzD ₅ %	Átlag
		0	40	80	120		
Adott P ₂ O ₅ kg/ha 12 év alatt							
P ₀	-	-	80	160	240		120
P ₀	960	960	1040	1120	1200		1080
P-mérleg, P ₂ O ₅ kg/ha 12 év után							
P ₀	-	-170	-104	-35	34		-68
P ₀	960	766	835	919	990		878
Jubilejnaja, szemtermés t/ha, 1972							
P ₀	-	1.52	2.23	2.45	3.20	6.8	2.35
P ₀	960	4.86	4.60	4.38	4.78		4.66
Kiszombori, szemtermés t/ha, 1973							
P ₀	-	2.03	2.41	3.10	3.84	4.1	2.84
P ₀	960	3.86	4.02	4.02	4.02		3.98
Terméstöbblet a 2 év alatt, t/ha							
P ₀	960-0	5.16	3.98	2.84	1.76	4.0	3.44
AL-P ₂ O ₅ ppm, 1972 őszén							
P ₀	-	55	60	68	90	36	68
P ₀	960	147	140	159	154		150
Olsen-P ₂ O ₅ ppm, 1972 őszén							
P ₀	-	11	12	20	20	24	15
P ₀	960	72	58	90	78		74
Szemtermés P ₂ O ₅ tartalma, kg/ha/2 év átlaga							
P ₀	-	11	15	20	26	6	18
P ₀	960	32	31	30	32		31

Vizsgáljuk meg az egyszeri feltöltés hatását a talaj szervesetlen P frakcióira. Az 5.3 táblázat eredményeiből a hatásmechanizmus kirajzolódik. Az első feltöltő adag közel 9, míg a második 90-szeresére növelte az I. frakciót. Hasonlóképpen ugrásszerűen nőtt a II. frakció mennyisége is, bár %-osan mérsékeltebb arányban. Összességében megállapítható, hogy a műtrágya P 60-70 %-a az első két mozgékonyabb frakcióba épült be. A III. frakció mennyisége bár megduplázódott, mégis mérsékelt maradt a talajon és nem haladta meg az ásványi készlet 3 %-át. Az így létrejött állapot idővel megváltozik majd az elsődlegesen létrejött P-formák átalakulása következtében. Figyelemre méltó, hogy a közel 2000 kg/ha P₂O₅ hatására az összes ásványi frakció megduplázódott.

5.3 táblázat: A feltöltő P műtrágyázás hatása a talaj szántott rétegének P frakcióira (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1973) (Fülek és Kádár 1975)

Régi P	Feltöltő P	Chang-Jackson féle frakciók az új P átlagában				Összeg
		I.	II.	III.	IV.	
P, ppm						
P0	-	2	22	8	430	462
P0	960	17	55	10	460	542
P0	1920	172	174	22	634	902
Többslet a kontroll %-ában						
P0	-	100	100	100	100	100
P0	960	895	250	128	107	117
P0	1920	9053	791	288	124	195
A frakciók %-os megoszlása						
P0	-	0.4	4.8	1.7	93	100
P0	960	3.1	10.2	1.8	85	100
P0	1920	19.1	19.3	2.5	59	100
A beépült műtrágya-P %-os megoszlása						
P0	-	-	-	-	-	-
P0	960	19	41	3	37	100
P0	1920	39	34	3	24	100

A rutinvizsgálatokra visszatérve Olsen et al. (1954) módszerét kell megemlíteni. Ezt a módszert meszes talajokra dolgozták ki, ahol a nehezen oldható mészfoszfat, az ún. "mészrétegekben eltemetett foszfor" kevésbé hozzáférhető a növény számára. Mivel a savas oldószerek oldják a meszet, túlbecsülhető a talaj P-ellátottsága. Amint az 5.2 táblázatban látjuk, az Olsen-féle NaHCO_3 kioldással nyert talajvizsgálati adatok jól korreláltak a növényi felvétellel, tehát az ún. "felületi P" a tényleges P szolgáltatással. Megjegyezzük, hogy ezt a módszert szinte a világ minden táján használják meszes talajokon a P ellátottság becslésére. Elterjedt pl. az USA nyugati államaiban, Ausztráliában, Angliától Dél-Afrikáig. Sőt a Szovjetunióban, Közép-Ázsiában és másutt a déli meszes talajokon bevezetett Macsigin (1952) módszer szintén ezen az elven alapul, KHCO_3 kioldást alkalmazva.

Európában, regionálisan főként Észak- és Közép-Európában a 40-as éveket követően terjed a Riehm (1942) által savanyú talajokra kidolgozott ún. DL módszer. Ezt később Riehm (1958) ill. Egnér et al. (1960) módosítják abból a célból, hogy az 5 %-nál több meszet tartalmazó talajok felvehető P tartalmát is kielégítően meg lehessen becsülni. Ez a módszer terjedt el hazánkban is AL-módszer néven, ill. válik hivatalos standard módszerre a szaktanácsadásban. Ausztriában Schüller (1969) javasolja a CAL-módszert, amely a nyersfoszfátokkal trágyázott talajok P szolgáltatását megbízhatóbban jelzi. Az említett módszerek

közös alapjául a laktátos kioldás szolgál, melyet már jóval korábban javasolt Egnér (1938).

A kutatás a legkülönbözőbb oldószerekkel kísérletezett az elmúlt másfél évszázad alatt és feltehetően ez a munka folytatódni fog a jövőben is abból a célból, hogy a talajok tápanyagszolgáltatását és trágyaigényét minél megbízhatóbban jellemezzük. Az erős koncentrált ásványi savakat fokozatosan felváltották a híg ásványi savak, szerves savak, sóoldatok. Az utóbbi évtizedekben terjedt el az a szemlélet, hogy talán a legtokéletesebb oldószer a víz lehet. Legalábbis a tápanyagokban gazdagabb talajokon. Hollandiában van der Paauw (1971) javaslatára e módszert a rutin szaktanácsadás bevezette. Németországban elsőként a dialízis elvén alapuló elektro-ultra-szűrés, az EUF módszer gyakorlati alkalmazására került sor (Németh 1972). Az EUF módszer a talajban különböző erővel megkötött tápelemek deszorpcióját kíséri megbecsülni. Univerzális oldószere a víz, és elvileg bármely elem deszorpciójának jellemzésére alkalmas lehet.

Láthatóan a kutatók ma is abban a reményben dolgozzák ki újabb és újabb módszereiket, hogy végül olyan oldószert és eljárást találjanak, amely az egészséges növény tápelemfelvételét tökéletesen utánozni képes. Ezek a fáradozások csak részleges eredményt adtak, ill. nem vezettek a remélt sikerekre. Az agrokémia ugyanis hosszú időn át e problémát egyoldalúan a kémia szemszögéből közelítette meg. A kutatók gyakran a talajtulajdonságok szerepét, valamint a növény táplálkozásának élettani, biológiai oldalát figyelmen kívül hagyták. Igaz, hogy a tápelemfelvétel összetett mechanizmusa csak később tárult fel előttünk. Nem túl régi felismerés pl., hogy a tápelemfelvétel a növényi anyagcsere (légzés stb.) függvénye. Éppen a részleges sikertelenségről tanúskodik a javasolt talajvizsgálati módszerek nagy száma. A talaj "felvehető" P tartalmának meghatározására javasolt ismertebb és sorozatvizsgálatra is alkalmas kémiai eljárásokat áttekintve Sarkadi (1975)

- az ásványi savakat és sóikat oldószerekül használó módszerek közül 12,
- a szerves savakat és sóikat használó módszerek közül 18,
- a lúgokat és lúgosan hidrolizáló sókat használó módszerek közül 12,
- a víz és semleges sók oldószereán alapuló módszerek közül 10 eljárást ismertet.

Azaz egyetlen tápelem "felvehető" tartalmának meghatározására "...az utóbbi 10-20 évben javasoltak, ill. azok a 20-30 évnél régebben kidolgozottak, melyek elvi szempontból jelentősek, ill. bizonyos körülmények között még napjainkban is használatosak." Tehát nem a teljesség igényével összesen 52 eljárást említ.

Hamis lenne azonban azt állítani, hogy az agrokémia vajmi keveset adhatott a gyakorlatnak ezen a téren. Éppen ellenkezőleg. A sikertelenségek, hibák és zsákutcák fedték fel az egyes módszerek eltérő kioldási mechanizmusát különböző talajfeleségeken, eltérő körülmények között. Az eközben szerzett tapasztalat alapvetően járult hozzá ahhoz, hogy ismereteink a talaj-növény-trágya rendszerről elmélyüljenek. A talajvizsgálatoktól ma is többet várnak el, különösen a szaktanácsadásban, mint amire azok képesek. Elméletileg sem lehetséges és a jövőben sem képzelhető el egyetlen olyan módszer "megalkotása" vagy "feltalálása", amely az élő és állandóan változó vizsgálati objektumot jelentő talajt képes lesz

egyetlen vagy néhány számmal, mutatóval jellemezni, majd a mutatók alapján a várható trágyahatásokat abszolút megbízhatóan előrejelezni. Hiszen a trágyahatásokat számos, helyesebben számtalan tényező (pl. időjárás) befolyásolhatja, melyek változását nem látjuk előre. Tekintsük át ezeket!

5.3 A növényi tápanyagok felvehetősége és a trágyahatások

A növényi tápanyagok felvehetőségére mindazon tényezők hatnak, melyek

- befolyásolják a talaj tápanyagainak mobilitását (talajban lejátszódó folyamatok)
- befolyásolják a növény azon képességét, hogy a talaj tápanyagait hasznosítsa (növényben lejátszódó folyamatok),
- valamint a talaj és a növény közötti kölcsönhatások iránya és mértéke (talaj-növény rendszer összefüggései és folyamatai).

A talajból történő tápelemfelvétel alapvetően a talajoldat közvetítésével történik. A talajoldat tápanyagai több forrásból származhatnak: az elsődleges ásványok mállásából, a talaj szerves anyagainak ásványosodásából, az alkalmazott trágyaszerekből, atmoszférából, más helyekről történő anyagmozgásból (átszivárgás, erózió) stb. A talajban történő folyamatok jellemzője, hogy valamiféle egyensúly alakul ki a talajoldat és a szilárd fázis között. Mind a talaj-kolloidok, mind a növények gyökerei negatívan töltöttek, így meghatározó a kation kicserélődés a talajban. Bizonyos kationok, mint pl. a nehézfémek egy része (Cu, Zn stb.) a talaj szerves anyagaival komplex vegyületeket képezhetnek. A Fe és Al oldhatatlan oxidokat vagy hidroxidokat alkotnak, a P nehezen oldható kötésekre léphet a Fe, Al, Ca kationokkal stb. Az anionok közül, mint ismeretes, a NO_3 , Cl és bizonyos fokig a SO_4 ionok is mozgékonyak maradnak a talajban. Eltérő tehát az egyes tápelemek viselkedése, kémiai állapota a talajban, mely meghatározza oldatba kerülésüket.

A talajoldat ionkoncentrációjára kétségtelenül hatással vannak olyan tényezők is, mint a hőmérséklet és az ionaktivitás. Jelentőségük azonban több szerző szerint (Barber 1966, Mengel 1976, Bergmann 1979) közel sem éri el a pH és a redoxpotenciál befolyását. A redoxpotenciál a talaj levegőzöttségével és ezen keresztül a mikrobiális tevékenységgel kapcsolatos. Elsősorban azon elemek oldhatóságát befolyásolja, amelyek több oxidációs szinten létezhetnek a talajban. Ilyenek pl. a N, S, Fe, Mn, Cu.

A denitrifikáció és a Mn redukció pl. végbemehet olyan talajokban is, amelyek nedvesek, de vízzel még nem telítettek. A legtöbbször azonban telített vagy vízzel borított talajokban tapasztalható e jelenség. Ugyanilyen körülmények között a Fe(III) redukciója Fe(II) alakba gyakran együtt jár a P felszabadulásával, oldhatóvá válásával. Így javulhat pl. az elárasztott rizs P ellátása. Részben ennek is tulajdonítható, hogy öntözött talajainkon a P-hatások általában mérsékeltebbek.

A növény szerepét említve a tápelemek felvételében abból kell kiindulni, hogy a gyökér átszövi a talajt és fizikailag elfoglalja azt a teret, amelyben a felvehető tápelemek is vannak. Általánosan fogalmazva: alapvetően a növény keresi

meg a tápelemeket a talajban, nem pedig fordítva. Természetszerűen a talaj tápanyagainak csak egy részét hasznosíthatja a növény egy adott évben. A gyökerek a legtöbb esetben mindössze néhány %-át hálózák be a rendelkezésre álló talajtérfogatnak, illetve töltik ki a talaj pórustérfogatának szabadföldi viszonyok között.

A gyökerek növekedésekor megvalósul a közvetlen ionfelvétel is, az intercepció, a kontaktfelvétel. Minél kiterjedtebb tehát egy növény gyökérrendszere és minél nagyobb a tápelemek koncentrációja a gyökérzóna határfelületén a talajrézecskekben, annál fontosabb lehet az ilyen módon felvett tápelemek mennyisége. Jelenlegi ismereteink szerint azonban a növények tápanyagellátásában alapvető mechanizmus a tömegáramlás, vagyis a növények által elpárologtatott vízzel felvett tápelemek mennyisége a talajoldatból. Az, hogy a növény igényét milyen mértékben képes kielégíteni ez a folyamat, függhet az adott növényfaj abszolút tápelemigényétől (azaz ásványi összetételétől ill. fajlagos elemtartalmától), a talajoldat ionkoncentrációjától, a növény transzspirációs együtthatójától és a tényleges vízmennyiségtől, mely a gyökér felületével kontaktusba lép.

Amint növénytermesztésünk múltja, valamint a hazai vizsgálatok is igazolták (Cserhádi és Kosutány 1887, Debreczeni 1973, Ruzsányi 1975, Kádár 1982, Bocz 1985, Szalóki 1988 stb.), a növények vízigénye függ a tápláltságtól. A szárazság bizonyos fokig ellensúlyozható táplálással. A növények gyakran azért párologtatnak el oly sok vizet és törekednek luxusfogyasztásra, hogy e mechanizmussal biztosítsák tápelemfelvételüket. Korábban utaltunk rá, hogy hosszú időn át uralkodott az a vélemény, mely szerint alacsonyabb termésátlagaink oka a szárazságra hajló klímánkban keresendő. Terméseinket azóta többszöröztük, bár hazánk éghajlata nem változott észrevehetően.

Kísérletek történtek, hogy szabadföldi viszonyok között konkrét mérésekkel becsüljék meg a tömegáramlással a növényekbe jutó elemek mennyiségét. Barber (1966, 1973) szerint elsősorban a N, Ca, Mg, Zn, Cu, B, Fe felvételében játszhat fontos szerepet a tömegáramlás. A P és K felvételében a diffúzió, tehát a szilárd fázisból a koncentráció gradiens alapján oldatba kerülő ionok mennyisége lehet meghatározó. Sok még a megoldatlan kérdés a talaj-növény rendszer kutatásában, nem kizárt tehát, hogy elképzeléseink módosulni fognak a jövőben. Az alábbiakban a talaj-növény rendszerben lejátszódó néhány összefüggést említjük, melyek ismerete nélkül a növények táplálása nem érthető meg kellő mélységben.

A növényi tápelemabszorpciót befolyásolhatja a talaj levegőzöttsége, ill. a talajlevegő O_2 tartalma. Az aktív elemfelvétel energiaigényét ugyanis a gyökérlégzés biztosítja. A rosszul levegőzött, tömörödött talajon tehát a tápelemek felvétele megnehezülhet, függetlenül a talaj ellátottságától. A hőmérséklet egyaránt hat a talajra és a növényre. Mind a kémiai, mind a biológiai folyamatok hőmérsékletfüggők. Ebből adódik, hogy a hideg talajokon és kora tavasszal nagyok a tápelemhiányok ill. a trágyahatások. Igaz, hogy a biológiai tápelemigény is ebben a korai szakaszban a legkifejezettebb.

Az egyes tápelemek közötti kölcsönhatások jelentősen módosíthatják az adott elem felvehetőségét. Egy Mg-mal gyengébben ellátott talajon az erősebb K trágyázás Mg hiányt indukálhat, noha a K ellátottság még messze nincs a "toxikus" zónában. Régóta ismert a P-Zn ionantagonizmus, amely egyre több

gondot okoz ma már a hazai növénytermesztésben is. Amikor egy vagy néhány elemet adagolunk (műtrágyázunk), megváltozik az elemek egymáshoz viszonyított aránya a talajban és a növényben. A kiegyensúlyozott vagy harmonikus táplálás, a tápelemegyensúly megőrzése hovatovább a talajtermékenységi és növénytáplálási kutatások és a szaktanácsadás központi kérdésévé válik.

5.4 táblázat: A PxK trágyázás hatása az egyéb elemek tápelemtartalmára. Őszi búza bokrosodás végén, földfeletti rész, 8-8 ismétlés átlagában
(Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1975)

K-szintek	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	SzD _{5%}	Átlag
Mg, %						
K ₀	0.27	0.28	0.28	0.27		0.27
K ₁	0.23	0.21	0.21	0.23	0.04	0.22
K ₂	0.21	0.20	0.19	0.19		0.20
K ₃	0.21	0.19	0.17	0.18		0.19
Átlag	0.23	0.22	0.21	0.22	0.02	0.22
Fe, ppm						
K ₀	362	215	209	215		250
K ₁	275	201	192	211	78	219
K ₂	228	237	206	192		216
K ₃	268	208	179	194		212
Átlag	283	215	196	203	39	224
Mn, ppm						
K ₀	96	92	93	97		94
K ₁	86	85	86	90	7	87
K ₂	76	88	86	88		85
K ₃	78	92	88	88		86
Átlag	84	89	88	91	4	88
Cu, ppm						
K ₀	8.3	7.8	5.6	7.2		7.2
K ₁	7.8	5.8	6.7	6.2	2.0	6.6
K ₂	7.5	7.3	5.9	6.2		6.7
K ₃	8.6	6.2	6.5	5.3		6.6
Átlag	8.0	6.8	6.2	6.2	1.0	6.8
Zn, ppm						
K ₀	28	25	24	22		25
K ₁	27	22	22	20	4	23
K ₂	28	22	21	22		23
K ₃	27	22	21	22		23
Átlag	28	22	22	22	2	24

Megjegyzés: Az SzD_{5%} értékek a sorokra és az oszlopokra azonosak

Korábban már bemutattuk a 4³ típusú szabadföldi NPK műtrágyázási tartamkísérletünk néhány eredményét. A kísérlet kezeléseit és az AL-PK tartal-

lom változásait a 4.12 táblázat, a 6 leveles kukorica tápelemtartalmát a 4.13 táblázat foglalta össze. Az első néhány kísérleti év termésadatairól a 4.15 táblázat tájékoztató a PxK ellátás függvényében. Az 5.4 táblázat adatai ezúton arról adnak áttekintést, hogy a PxK ellátás milyen mérvű változásokat indukálhat más elemek felvételében ill. koncentrációiban. Megemlítjük, hogy a PxK ellátás mérsékelten növelte a búza termését, így ezek a koncentráció változások részben a hígulási effektus következményei is lehetnek.

Amint látható, a Mg tartalomban a K-Mg ionantagonizmus jelensége nyilvánult meg és a búza Mg ellátottsága 0.2 % alatti tartományba, a már alacsonynak minősülő zónába került. Mindez hihetetlennek tűnik egy meszes vályog csernozjomon, ahol a Mg készlet szinte kimeríthetetlen. Valóban e kísérletet megelőzően hasonló tapasztalatot nem szereztünk és a kérdésfeltevés illetően módja is elképzelhetetlennek tűnt volna. A Fe koncentrációját mindkét tápelem jelentősen csökkentette. A Mn felvétele ugyanakkor nőtt a P ellátással, melyet a K szintek részben ellensúlyoztak. A P túlsúly hatására a "nem kielégítő" ellátottsági zónába jutott a Zn és részben a Cu is. Összefoglalva elmondható, hogy a PK túlsúly ezen az ideálisan pufferolt talajon három esszenciális elem felvételében okozott zavarokat. A búza erre még nem reagált termésnövekedéssel.

5.5 táblázat: A P és a K ellátás hatása az őszi búza bokrosodáskori hajtásának tápelemtartalmára és arányára. Összesen 64-64 ismétlés középértékei (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1974-75. évek átlagai)

Elem, ill. arány	PK ellátottsági szintek				SzD _{5%}	Átlag
	0	1	2	3		
A P ellátottság függvényében						
N %	4.02	3.88	3.79	3.80	0.06	3.87
P %	0.26	0.39	0.43	0.46	0.02	0.39
Zn ppm	25	19	18	18	1	20
Mn ppm	87	89	90	91	3	89
Fe ppm	306	207	198	201	24	228
N/P	16	10	9	8	2	10
P/Zn	103	208	239	263	16	196
P/Mn	30	44	48	51	6	44
P/Fe	9	19	22	23	4	17
A K-ellátottság függvényében						
N %	4.08	3.81	3.79	3.81	0.06	3.87
K %	2.78	3.35	3.44	3.53	0.06	3.27
Mg %	0.27	0.23	0.22	0.21	0.04	0.24
Mn ppm	96	89	86	85	3	89
N/K	1.5	1.1	1.1	1.1	0.2	1.2
K/Mg	10	15	16	17	2	14
K/Mn	288	375	399	417	34	367

Az 5.5 táblázatban az 1974. és 1975. évi bokrosodáskori búza főbb tápelem-tartalmának és arányainak alakulását mutatjuk be a két év és az összes adat átlagában, a P és K ellátás függvényében. A tápelemtartalmak mindkét évben közel-állók voltak, így stabilabb átlagokkal jellemezhetők a változások. A P-ellátás hatására felére süllyedt a N/P aránya, ezzel a 8-10 körüli optimum tartományba jutott. Ugyanakkor a P/Zn aránya egyértelműen alátámasztja, hogy káros P túlsúly, ill. Zn hiány állott elő. A relatív Mg-hiányt ill. K-túlsúly jelzi a 15 feletti K/Mg aránya.

A kölcsönhatásokon kívül bármely olyan anyag befolyásolhatja a növényi tápelemfelvételt (pl. mérgező anyagok), amelyek a növényi növekedésre és az anyagcserére befolyással bírnak. Különösen a talajok elsavanyodásakor megjelenő Mn, Fe, Al és egyéb nehézfémek veendő számításba. Bizonyos talajokon ilyen tényező lehet a sófelhalmozódás. A talajvizsgálatok egyik célja lehet kimutatni az esetleges szennyező anyagok jelenlétét a talajban. Alkalmasak lehetnek erre bizonyos határok között a növényvizsgálatok is.

5.4 A rutin talajvizsgálatok korlátairól

Felmerülhet a kérdés, hogy a rutinvizsgálatok céljaira az intenzitás- vagy a kapacitás-tényező meghatározása indokoltabb-e? Elméletileg az intenzitás-tényező, tehát a talajoldat koncentrációjának ismerete kívánatosabb. Amint említettük, pl. a vízdoldható P tartalom általában jobban korrelál a növényi P felvétellel, mint a P-készletet jellemző kapacitás-tényezővel. Rutinvizsgálatoknál azonban problémát okozhat az igen alacsony (tized ppm vagy az alatti) koncentráció meghatározása, nagyobb az időszakos változás és a szennyeződés lehetősége is. Az intenzitás tényező a P, Ca, Mg és részben a K tápelemek ellátottságának becslésében lehet iránymutató.

A kapacitás tényező kalibrálása, értelmezése gyakran nagyobb problémát jelent, kevésbé univerzális. A kapacitás (Q) és az intenzitás (I) tényező viszonya ugyanis talajonként más és más. Az is kérdéses lehet, hogy melyik kapacitás tényezőt vagy azok kombinációit határozzuk meg? A K elemnél a kapacitás tényező magában foglalhatja bizonyos talajokon a kicserélhető, a nehezen kicserélhető és a nem kicserélhető vagy fixált, valamint az elsődleges ásványi K egy részét is Corey és Schulte (1973) szerint. Hasonló tapasztalatokat szerzett hazai talajokon, exhaustív kísérletekben Kozák et al. (1983).

A N esetén nehézségbe ütközik a kapacitás és az intenzitás tényezők közötti viszony megállapítása. Ez az elem nem tart fenn egyensúlyi állapotot a talajoldattal. A szerves N formák, valamint az ásványi $\text{NO}_3\text{-N}$ és az $\text{NH}_4\text{-N}$ között nincs egyértelmű kapcsolat. A szervesanyag-tartalom rosszul jelzi a várható N-szolgáltatást. A NO_3 index korlátozottan megfelelhet az intenzitás tényezővel szembeni követelményeknek, amennyiben a talaj szellőzött, a kimosódás pedig nem jelentős a gyökérzónában. Saját tapasztalataink szerint is, hazai viszonyaink között az igen savanyú homokokat és az igen kötött savanyú agyagokat kivéve a $\text{NO}_3\text{-N}$ műtrágya-egyenértékű lehet.

A különböző talajtényezők tápelemfelvételt befolyásoló szerepének megértése tehát fontos lehet a talajvizsgálatokkal és a szaktanácsadással foglalkozó szak-

ember számára. A talaj-növény rendszer bonyolultsága megnehezíti a lehetséges kölcsönhatások számszerű figyelembevételét. Ismereteink e téren még töredékesek. A talajvizsgálatokra épülő szaktanácsadás illetve előrejelzés megbízhatósága olyan módon javítható a jövőben, ahogyan ismereteink elmélyülnek e tényezőkről és az újabb kutatások fényében szemléletünket is ehhez igazítjuk.

A jelenlegi rutin tápanyagvizsgálati módszerek korlátait Bergmann (1968), Sarkadi (1975), Baker és Amacher (1981), Kádár (1986) stb. alapján az alábbiakban kíséreljük meg összefoglalni:

1. A mennyiségi tényező meghatározása önmagában elégtelen lehet, hiszen a talajok tápelemszolgáltatása eltérő. A mért értékeket nehéz kielégítően kalibrálni a tényleges felvehetőség szerint.
2. A felvehetőségi tényezőket csak becsüljük. A tényleges felvehetőség a tenyészidő során alakul ki számos külső tényező hatása alatt.
3. Közvetlenül nem mérjük a talaj pufferkapacitását vagy olyan tényezőket mint a levegő-víz aránya a talajban, a talaj biológiai aktivitása stb.
4. Általában figyelmen kívül hagyjuk a paraméterek térbeni (talajprofilbani) és időbeni (tenyészidő folyamán) változékonyságát.
5. Elvileg sem képes a talajvizsgálat a talajon kívüli olyan tényezőket számba venni mint a növényfaj és fajta, agrotechnika hatása, éghajlati és egyéb környezeti tényezők.
6. A növényi felvétel, a termés mennyisége és minősége az élő szervezet és környezete közötti kölcsönhatások eredőjeként jön létre. A kémiai talajvizsgálat csak bizonyos valószínűséggel jelezheti előre a talajbani tápanyagviszonyokat.

A fentiekén túlmenően rutinmódszereink általában nem alkalmasak pl. az extrém talajok jellemzésére. Specifikus talajelemzési eljárások lehetnek szükségessé a szerves talajok, tözegek, sós és szikes talajok vizsgálatára. Ahhoz, hogy egy talajelemzési módszer kielégítő eljárást nyújtson, Köttgen (1937) szerint az alábbi követelményeknek kell megfelelnie:

- Helyesen becsülje a talaj aktuális tápanyag- és mészállapotát;
- Adataiból következtetni lehessen a talaj tápelemkészletére is;
- Fejezze ki végül a talaj trágyázástechnikailag fontos egyedi sajátosságait, utaljon a trágyázás idejére, módjára, trágyaformára stb.

Az említett célok mindenesetre ritkán érhetők el egyetlen módszer felhasználásával. Megbízhatóbb információt nyerhetünk, ha pl. a vizsgálat nemcsak a szántott rétegre terjed ki, legalábbis kezdetben. Amennyiben a rutinvizsgálat rendszeressé válik, a talajbani információ értéke nőni fog, hiszen megbízhatóságát az időbeni trendek is erősíthetik. Célszerű időnként a drágább, nem rutin eljárásokat is bevonni a vizsgálatokba, így a termőhelyi viszonyok mélyebben megismerhetők. Így pl. a talajban előforduló tápanyagformák (tápanyagállapot) ismerete, az EUF vagy több rutin módszer egyidejű felhasználásával a növények táplálásában szerepet játszható frakciók feltárhatók. Az 5.2 és 5.3 táblázatok kapcsán taglaltuk a P műtrágyázás és a talaj Chang-Jackson féle P frakciói közötti kapcsolatokat. Most az 5.6 táblázatban a PK trágyázás, a felvehető PK tartalom és az EUF frakcionálás eredményeit mutatjuk be. Az EUF meghatározásokat a Tanakajdi Növényvédelmi és Agrokémiai Állomás végezte.

A táblázatban áttekintést adunk a kétévenként végzett talajvizsgálat eredményeiről az első 6 év folyamán. Amint látható, a melioratív PK trágyázással létrehozott ellátottsági szintek gyorsan süllyedtek az évekkel. A növényi felvétel e tekintetben még elhanyagolható volt, mégis egyre kisebb hányada maradt a műtrágya PK hatóanyagainak az AL és Olsen módszerrel kimutatható formában 1978-ra. Az EUF frakcionálás alátámasztotta, hogy ezen a 2:1 típusú, táguló rácsú montmorillonit agyagásványú talajon, meszes vályogon gyors a K és mérsékeltebb a P lekötődése. Míg az EUF-P tartalom a 7 frakció összegében ötszörösére nőtt a legnagyobb feltöltő adaggal, addig az EUF-K tartalom mindössze 60 %-kal emelkedett.

5.6 táblázat: A talaj könnyen oldható PK tartalmának, valamint EUF frakcióinak változása a szántott rétegben trágyázás hatására (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1974-78)

Módszer	1973 őszén adott P ₂ O ₅ ill. K ₂ O, ppm				SzD ₅ %	Átlag
Év, frakció	0	500	1000	1500		
AL-P ₂ O ₅ , ppm						
1974-ben	58	190	361	533	49	286
1976-ban	65	123	190	290	22	167
1978-ban	62	112	173	264	12	153
Olsen-P ₂ O ₅ , ppm						
1974-ben	12	83	193	316	40	151
1976-ban	16	44	72	123	10	64
1978-ban	8	24	50	82	2	41
EUF-P ₂ O ₅ , ppm						
1978-ban						
1-2. frakció	3	5	11	15	3	8
2-6. frakció	8	14	26	32	6	20
7 frakció összege	13	24	46	61	9	36
AL-K ₂ O, ppm						
1974-ben	128	192	282	362	19	241
1976-ban	143	178	212	268	18	200
1978-ban	124	140	168	208	13	160
EUF-K ₂ O, ppm						
1978-ban						
1-2. frakció	32	40	47	63	6	46
3-6. frakció	51	55	63	80	8	62
7 frakció összege	102	111	131	164	15	12

A növényi tápanyagok felvehetőségén, talajbani átalakulásán túlmenően érintenünk kell a trágyaigény becslésének főbb kérdéseit is. A következő fejezetben a szaktanácsadást segítő alapelveket igyekszünk megvilágítani.

5.5 A trágyaigény becslésének néhány problémája

Az agronómiában ismert, hogy ugyanazon a talajon bizonyos növények trágyaigényesek, míg mások nem. Így pl. a kalászosok általában erősen P-igényesek de K-ra kevésbé reagálnak, míg a kukorica éppen fordítva. Ebből adódóan a talajvizsgálati adatokat növényre kell megadni, ill. a határkoncentrációkat növényre vagy növénycsoportokra kell finomítani (lásd id. Várallyay korábbi kísérleteit).

Mint ismert, a kevés kolloidot tartalmazó, alacsony kationkicszerelő kapacitású talajokon túlbecsülhetjük a talaj tápanyagszolgáltatását a talajvizsgálatok alapján. Ilyen talajok gyorsan feltöltődnek trágyázáskor és gyorsabban el is szegényednek felvehető tápanyagokban, mivel a készlet alacsony. Ez a jelenség természetesen a pH, ill. a reakció állapotuk változására is igaz. Amennyiben talajvizsgálataink célja a trágyaigény megállapítása, tudatában kell lennünk, hogy utóbbi mely tényezők függvénye. Lemmermann (1930) klasszikusnak tekintett véleménye szerint a talaj trágyaigénye függhet:

1. A növény tápelemigényétől. Ez az a tápelemmennyiség, amely a mindenkori termesztett növény maximális termésének létrehozásához szükséges. Azaz a fajlagos tápelemtartalom alapján becsülhető.
2. A növény trágyaigényétől. Ez a tápelemmennyiség nem azonos a tápelemigénnyel. Függ ugyanis a növényfaj genetikailag meghatározott azon képességétől, hogy a talaj és a trágya tápanyagait mennyiben képes hasznosítani, ill. tápelemigényét esetleg más úton kielégíteni. A pillangósok N-igényüket pl. a levegőből is fedezhetik.
3. A talaj tápanyagellátottságától ill. tápelemszolgáltatásától.
4. Egy sor más tényezőtől mint az éghajlat, a talaj szerkezete és mállási sebessége, a művelés, a vetésforgó stb., melyek a növényi növekedésre és a talajtápanyagok felvehetőségére is hatnak.

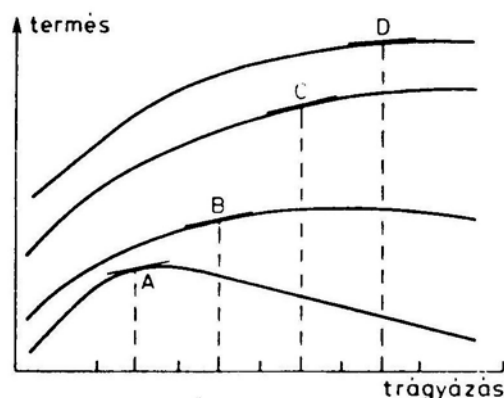
A fentiekből kitűnik, hogy milyen nehézségekkel kell megküzdeni a trágyaszükséglet megállapításánál. Ez a becslés csak akkor lehet többé-kevésbé megbízható, amennyiben az említett tényezőket is megkíséreljük figyelembe venni a talajvizsgálatok értelmezése során. A legnehezebb problémát kétségtelenül az adatok értékelése és felhasználása jelenti.

A klimatikus és más tényezők hatására változnak a termésszintek és a trágyahatások (trágyaadag optimumok) is. Az általános haladás következtében nőtt a potenciális termésszint, folyamatosan javultak a genetikai alapok és az azokat realizáló agrotechnikai műveletek. Ebből adódóan egyre nagyobb trágyaadagok érvényesültek a gyakorlatban és nőtt az optimális adag nagysága. Az 5.7 ábrán szemléltetjük a potenciális termésszint és a trágyahatások elvi összefüggéseit.

Az elmúlt évtizedek hazai gyakorlatában nemcsak a főbb kultúrnövényeink termését növeltük két-háromszorosára, hanem esetenként a talajaink PK ellátottságát becsülő "optimális" ellátottsági határértékeket is. A 60-as évek végéig pl. 80-120 ppm AL-P₂O₅ tartalmat tekintettünk "kívánatos"-nak a meszes csernozjomon (Sarkadi és Kádár 1974). Az utóbbi évtizedben ugyanezen a talajon az újabb szabadföldi kísérletek alapján a 150-200 ppm AL-P₂O₅ tartalom elérését

javasoltuk (Kádár et al. 1984). Természetszerűen a javasolt "átlagos" trágyaadag is nőtt. A 60-as években 30-50 kg/ha P_2O_5 adagok meglehetősen elfogadottak voltak. Ebben szerepet játszott az a körülmény, hogy a nagyobb hozamokkal együtt járt a nagyobb tápelemigény. Másrésről nagyobb tápelembőséget tartottunk szükségesnek a talajban.

5.7 ábra: A potenciális termésszint és a trágyahatások elvi összefüggése. A, B, C, D: gazdasági optimumok



A gazdák, ha tehetik, biztonsági okból is bizonyos túltrágyázásra törekednek. Így lehet a legjobb fajták genetikai termőképességét realizálni, a kedvező időjárás és a jó agrotechnika előnyeit kihasználni, ill. elkerülni az esetleges terméseszköket tápelemhiány miatt. Gazdaságilag ugyanis az alultrágyázás és az abból adódó terméseszköket két-háromszor akkora kockázatot ill. jövedelemvesztést jelenthet, mint az esetleges túltrágyázás. Feltéve, ha a mérsékelt túltrágyázásra az adott növény nem érzékeny. A kalászos gabonák többségénél pl. a N túltrágyázás még minőségjavító is lehet, de a PK túltrágyázás sem okoz gondot.

Az önköltség ugyanis az általános termésszinttől döntően függhet. Csak egy bizonyos termésszint felett jár haszonnal a termelés. Az alultrágyázással járó esetleges terméseszköket kockázata az önköltség feletti terméstöbbletet (tehát a profitot) veszélyeztet. A túltrágyázás vesztesége a gazda számára mindössze a feleslegben kiadott műtrágya ára, amely magas költség- és termésszintnél relatíve alacsony. Amint Barber (1973) megjegyzi, gyakran a műtrágya ára is részben leírható, mert esetenként jelentős utóhatásokra számíthatunk. A túltrágyázás okozta környezetterhelés, a környezeti károk a gazdánál ritkán jelentkeznek. Amint azonban a későbbiekben látni fogjuk, a túltrágyázás egyre inkább globális problémákat jelenthet és így visszahat az üzemre is.

A maximálisan gazdaságos termésszint eléréséhez szükséges trágyaigény eltérhet elemenként azért is, mert más és más lehet a termésgörbe alakja. Már Mitscherlich (1930) és később Bray (1944) megkülönböztette a mobilis N lassan emelkedő termésgörbéjét a kevésbé mozgékony P meredeken felfutó és gyorsan elfekvő hatásgörbéjétől. A potenciális termésszint emelkedésével elsősorban a mobilis N iránti igény nő. A növények ugyanis szinte a talaj teljes NO_3-N

tartalmát képesek elérni és hasznosítani gyökereikkel, mert a NO_3 (legalábbis fizikailag) a talajvízzel együtt a gyökerekhez eljuthat.

Ezzel szemben a P kevésbé mozgékony. A növény a nagyobb termés eléréséhez kénytelen több gyökeret fejleszteni, hogy kiaknázhassa a talaj felvehető P készletét, elérje azt. A potenciális termésszintek növekedésével azonban nem kell szükségszerűen nőni a P-trágyázásnak, amennyiben a talaj már kellően feltöltött és jól ellátott P-ral. Ebben az esetben tehát döntő a talaj ellátottsága, a feltöltő vagy a fenntartó trágyázás gyakorlata. A trágyázás filozófiája is eltérő lehet. A P esetében az alábbi főbb irányzatokra utalhatunk:

1. Célunk a kielégítő ellátottság elérése és fenntartása a talajban. A forgó leg-trágyaigényesebb növényénél sem állhat elő termés kiesés. Ezt nevezhetjük szokásosan talajtrágyázásnak. A jó ellátottság elérhető egyszeri "feltöltő vagy melioratív" adaggal, vagy a hosszú ideig tartó talajgazdagító trágyázással (Barber 1973, Kádár és Lásztity 1979, Pekáry és Holló 1979 stb.).
2. Célunk a maximális nettó jövedelem elérése az adott évben. A talaj feltöltése és az esetleges utóhatások számításán kívül maradnak. Ez a kevésbé gazdag országok ill. termelők gyakorlata és filozófiája. Környezetkímélőbb, hagyományos. Ezt nevezzük szokásosan növénytrágyázásnak.

Az eltérő megközelítésből kiindulva a gazda eltérő szaktanácsot kaphat ugyanazon talajvizsgálati eredményből és ugyanarra a táblára is. Így Barber (1973) bemutat egy példát az Egyesült Államokban, ahol 43 és 120 kg/ha P_2O_5 között ingadozott a kukoricára adott javaslat egy gyengén ellátott talajon. Különböző szaktanácsadó szervezetek eltérő javaslatait részben ez indokolhatja. Éppen ezért a gazdával tudatosítani kellene, hogy a javasolt adag milyen megfontolások nyomán jött létre és választási lehetőséget adni az üzemi döntéshez. Talán ezzel a talajvizsgálatok hitele is nőne a gazdák körében.

5.6 Talajvizsgálatokra alapozott trágyázási szaktanácsadás elemei

Amikor az agrokémiai célú talajvizsgálatokról beszélünk, tágabb értelemben Welch és Wiese (1973) szerint beleértjük:

1. Az ilyen irányú tevékenységgel kapcsolatos szervezeti, oktatási, valamint koordinációs és propaganda tevékenységet;
2. Mintavételi, analitikai és laboratóriumi eljárásokat;
3. A kalibrációval és az összefüggés-vizsgálatokkal kapcsolatos kutatásokat;
4. Valamint az adatok tulajdonképpeni értelmezését, a szaktanácsadást.

Kétséget kizáróan a hatékony talajvizsgálati program óriási háttérinformációt, alapot igényel. Ezek közé tartozik a talaj felvehető tápelemformáinak ismerete, a felvehető tápelemek mérésére alkalmas kioldószerek hatásmechanizmusának ismerete, a talajok potenciális termőképességének és a főbb növények trágyareakciójának ismerete (beleértve az adag, forma és trágyázás módját), valamint döntően a talajvizsgálati adatok értelmezését lehetővé tevő kalibrációs növénykísérletek eredményeinek ismerete. Az értelmezés megbízhatósága az említett háttérkutatás alaposságától és minőségétől függ. Gyakran, különösen a fejlődő országokban úgy vezetik be a talajvizsgálatokat, hogy hiányzik a megfelelő kutatási háttér. A kémiai módszereket és a talajmintavételi eljárásokat

ill. technológiát esetleg átvihetjük az egyik kontinensről vagy államból a másikba. A kapott talajelemzési adatok megbízható értelmezését lehetővé tevő háttérkutatótást, elsősorban a trágyahatások és a talajvizsgálati eredmények közötti összefüggések alapján kalibrált határértékeket azonban nem. Melsted és Peck (1973) szerint a talajdiagnosztikai programok sikere egyenes függvénye a megfelelő alapozó kutatásoknak.

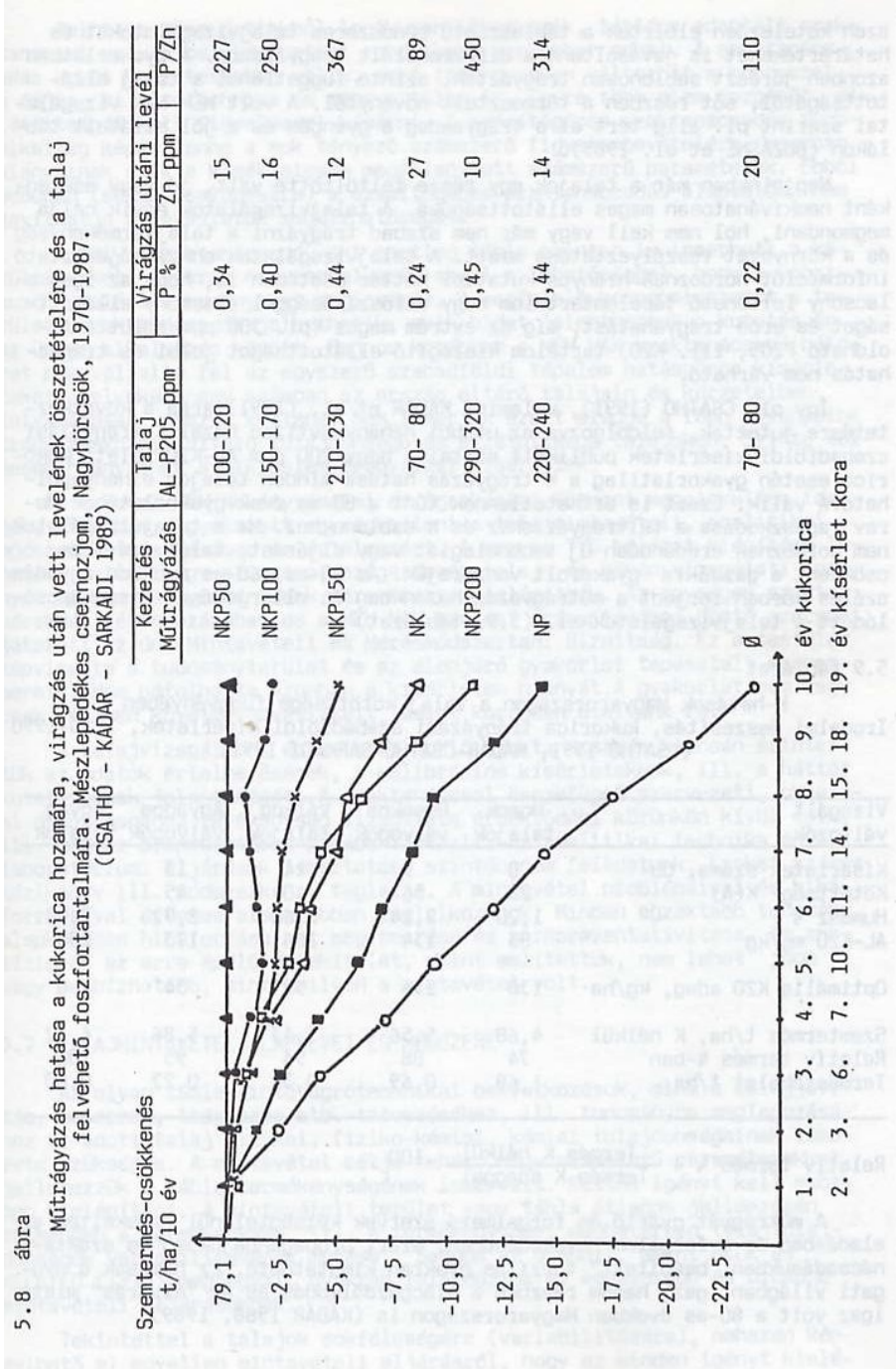
Általában elfogadott, hogy a szaktanácsadás rendszerében a leggyengébb láncszem a talajmintavétel, valamint az adatok értelmezése terén a hiányos kalibráltság. Amint láttuk, az eltérő filozófia szintén eltérő szaktanácsot eredményezhet attól függően, hogy a jó vagy a közepes ellátottság elérése a cél, a növényt vagy a talajt trágyázzuk stb. A szaktanácsadás során felhasználjuk ismereteinket a talajról és a növényről. Ez a folyamat feltételezi a talajtermékenység (beleértve a kémiai, fizikai, biológiai, genetikai), valamint termesztési, növénytáplálási, sőt némely közgazdasági ismeret szintézisét. Valójában csoportmunkát igényel, különböző szakemberek együttműködését és tudásuk felhasználását.

A talajvizsgálatok (szaktanácsadás) egyes fázisai behatárolják, hogy milyen eredményes és megbízható lehet a szaktanácsadás. Nem lehet értelemszerűen megbízhatóbb, mint amilyen volt maga a talajmintavétel, az analízis, a kalibráltság és a felhasznált üzemi adatok megbízhatósága. Tudatában kell lennünk, hogy a talajvizsgálati eredményeknek nincs semmiféle növényélettani értelme. Nem azt mondják meg, hogy a növény gyökere mennyi tápelemet vehet fel a talajból, hanem bizonyos valószínűséggel utalnak az adott talaj tápelemszolgáltatására.

Minél szélesebb körű kísérleti tapasztalatokkal rendelkezünk a trágyahatásokat illetően, minél több talajféleségen és több növényre ismertük meg az optimumokat, annál inkább pontosítható a szaktanácsadás. Amilyen hatékony és áldásos lehet az okszerű trágyázás nemcsak a mezőgazdaságra, hanem az egész népgazdaságra nézve, olyan pusztító lehet a rossz szaktanácsadás, amennyiben megvalósul. A feleslegesen kijuttatott trágya költségén túl csökkenhet a termés, romolhat a minőség és visszafordíthatatlanul szennyeződik a környezet (lásd pl. 5.8 ábra).

Ahogy nő a műtrágyafelhasználás, úgy nőniük kell tehát a talajvizsgálatokra és azok értelmezését megalapozó kísérletekre, kutatásra, szaktanácsadásra fordított összegekre is. Általában a műtrágyák értékének 1-2 %-át javasolják a kutatásra és szaktanácsadásra költeni. Az elmúlt évtized 10-20 milliárd Ft/év műtrágyafelhasználását alapul véve ez 100-200 millió Ft/év kiadást jelentene. A jó szaktanácsadás költsége nagyságrendekkel térülhet meg az üzemi gyakorlatban. Amikor a talajvizsgálatok értelmezéséhez, a részletes határértékek kialakításához nincs elégséges adatunk, a trágyázás sablonszerűvé válik. Esetleg olyan értelemben, hogy csak egyféleképpen differenciálunk. Adott határérték alatt trágyázunk, felette nem. Ez a stádium alig haladja meg azt az állapotot, amikor talajvizsgálatokat egyáltalán nem használunk. Tehát a trágyázás "vakon" történik egy

5.8 ábra



átlagos adaggal és aránnyal. Az előrehaladottabb fázis a szaktanácsadásban, amikor ellátottsági kategóriák valószínűsítik a várható trágyahatás mértékét. Hazai viszonylatban formailag ehhez a feltételek adottak voltak a 80-as években. Hiszen kötelezően előírtuk a táblaszintű rendszeres talajvizsgálatokat, és határértékeket is javasoltunk a differenciált trágyázásra. A gyakorlatban azonban jórészt sablonosan trágyáztak, szinte függetlenül a talaj ellátottságától, sőt részben a termesztett növénytől. A volt MÉM NAK vizsgálatai szerint pl. alig tért el a trágyaadag a gyengén és a jól ellátott táblákon (Buzásné et al. 1985).

A '90-es évek elejére már a talajok egy része feltöltötté vált, jó vagy esetenként nemkívánatosan magas ellátottságúvá. A talajvizsgálatok egyik célja megmondani, hol nem kell vagy már nem szabad trágyázni a talajtermékenység és a környezet veszélyeztetése miatt. A talajvizsgálatok annyi tájékoztató információt hordoznak hiányos kutatási háttér esetében is, hogy az igen alacsony felvehető tápelemtartalom nagy valószínűséggel alacsony ellátottságot és erős trágyahatást, míg az extrém magas (pl. 300 ppm fölötti AL-oldható P_2O_5 , ill. K_2O) tartalom kielégítő ellátottságot jelöl és trágyahatás nem várható.

Így pl. Csathó (1991), valamint Kádár et al. (1991) arra a következtetésre jutottak, feldolgozva az utóbbi néhány évtized hazai K trágyázási szabadföldi kísérletek publikált adatait, hogy 200 ppm AL- K_2O felett kukorica esetén gyakorlatilag a K trágyázás hatása minden talajon elhanyagolhatóvá válik. (5.9 táblázat). Ezért is érthetetlennek tűnt a 80-as évek gyakorlatának merev ragaszkodása a túltrágyázáshoz és a sablonokhoz. Ma a talajvizsgálatok nem hordoznak eredendően új technológiát vagy eljárást, talán ezért is csökkent a gazdákra gyakorolt vonzerejük. Az 50-es, 60-as években ugyanis széles körben terjedt a műtrágyázás hazánkban és elterjedése összekapcsolódott a talajvizsgálatokkal.

5.9 táblázat: K-hatások Magyarországon a talaj kötöttsége függvényében. Irodalmi összesítés, kukorica trágyázási szabadföldi kísérletek, 1960-1990. (Csathó 1991, Kádár-Csathó-Sarkadi 1991)

Vizsgált változó	Homok talajok	Homokos vályogok	Vályog talajok	Agyagos vályogok	Agyag
Kísérletek száma, db	8	5	14	13	4
Kötöttség (K_A)	28	36	40	45	56
Humusz %	1.20	2.14	2.68	2.72	3.00
AL- K_2O ppm	83	134	156	173	208
Optimális K_2O adag, kg/ha	130	134	59	34	0
Szemtermés t/ha, K nélkül	4.68	5.56	5.43	5.86	6.42
Relatív termés %-ban	74	88	94	95	100
Terméstöbblet t/ha	1.68	0.69	0.36	0.22	0.00

$$\text{Relatív termés \%} = \frac{\text{Termés K nélkül}}{\text{Termés K adaggal}} \cdot 100$$

A műtrágyát gyártó és forgalmazó szervek kétségtelenül érdekeltek az eladásban és a forgalom növekedésében, ezért propagandájukban és szaktanácsadásukban "beépített" torzítás gyakran kimutatható. Ez nemcsak a nyugati világban igaz, hanem részben a piacgazdálkodás és az "elvárás" miatt igaz volt a 80-as években Magyarországon is (Kádár 1988, 1989).

Amint az elmondottakból logikusan következik, táblára adaptált szaktanácsot csak helyismerettel rendelkező szakember adhat. A szaktanácsadás egyre összetettebbé válik, mert igen gyorsan változhat a környezet, a fajta, az agro-technika és maga a talaj is. Egyre több elem mozgását, ellátottságát kell figyelemmel kísérni. A számítógépes szaktanácsadás technikailag képes lenne a sok tényező számszerű figyelembevételére, azonban hiányoznak ehhez a kísérletesen megállapított számszerű paraméterek. Ebből adódóan (sokak csalódására) a számítógépes szaktanácsadás gyakran nem javítja a javaslatok megbízhatóságát.

A helyi szaktanácsadó, aki esetleg táblaszinten is ismerheti a körülményeket, gyakran nem rendelkezik azzal a lehetőséggel, hogy a vonatkozó kutatási eredményeket megismerje. A megfelelő kompromisszumot a területi szaktanácsadók jelenthetik, akik hidat képeznek a kutatás és az üzemi alkalmazás között. Sajnos korábban a MÉM NAK szaktanácsadó hálózat nem vállalta fel az egyszerű szabadföldi tápelem hatásgörbe kísérleteket, melyeket nagy számban az ország eltérő talajain és körzeteiben folyamatosan végezni kellene. Nem ismerjük ezért eléggé a főbb növényeink trágyareakcióit eltérő tulajdonságú és ellátottságú talajokon. Szinte teljesen hiányoznak a mikroelem trágyázási kísérletek.

Az akkori MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ megalakulása idején, 1976-ban igyekezett egységesíteni a talajmintavételi, analitikai módszereket és részben az értelmezést. A megyei TVG hálózat kiépítése lehetővé tette, hogy az egész mezőgazdaság talaj- és növényvizsgálati igényét olcsón és gyorsan, sok paraméterre kielégítsék. Az egységes szaktanácsadás létrehozásában és a MÉM NAK szakmai irányításával döntő szerepet játszott az ún. Mintavételi és Mérésmodszertani Bizottság. Ez a testület képviselte a tudományterület és az élenjáró gyakorlat tapasztalt szakembereit. Nem pótolhatta azonban a kísérletek hiányát. A gyakorlat nem vagy csak részben követte javaslatait, amint korábban utaltunk rá.

A talajvizsgálatok és az arra épülő szaktanácsadás kapcsán érintettük az adatok értelmezésének, a kalibrációs kísérleteknek, ill. a háttér kutatásoknak jelentőségét. A szaktanácsal összefüggő szervezeti, oktatási és propaganda tevékenység vizsgálata érdeklődési körünkön kívül esik, ill. nem az alap kutatások körébe tartozik. Az analitikai technika és a laboratóriumi eljárások ismertetése szintén nem feladatunk. Ezeket számos kézikönyv ill. módszerkönyv taglalja. A mintavétel problémáival és hibaforrásaival azonban érdemes alaposabban foglalkoznunk. Minden egzaktabb tudomány alapkérdése hibaforrásainak megismerése és reprezentativitása. Az analízis és az arra épülő értékítélet amint említettük, nem lehet jobb vagy megbízhatóbb mint amilyen a mintavétel volt.

5.7 A talajmintavétel alapelvei és módszerei

Az olyan táblaszintű agrotechnikai beavatkozások mint a talajjavítás, meszezés, trágyázás stb. tervezéséhez ill. tudományos megalapozásához az adott talaj fizikai, fiziko-kémiai, kémiai tulajdonságainak ismerete szükséges. A mintavétel célja tehát, hogy számszerű paraméterekkel jellemezzük a tábla termékenységének ismérveit. Kettős igényt kell eközben kielégíteni. A mintavételi terület vagy tábla átlagos jellemzésén túlmenően a termékenység, ill. a termékenységet meghatározó talajtulajdonságok variabilitásának mérése. Sajnos az utóbbit, amint Peck és Melsted (1973) megjegyzi, gyakran feláldozzuk az egyszerűbb és olcsóbb mintavételi eljárásoknak.

Tekintettel a talajok sokféleségére (variabilitására) nehezen képzelhető el egyetlen mintavételi eljárásról, hogy az minden igényt kielégítsen. A mintavétel módja a vizsgálat céljától függően is különbözhet. Mivel a vizsgálandó terület talaját teljességében nem elemezhetjük, reprezentatív mintákra kell hagyatkoznunk. Hogyan vegyük a mintákat? Mennyiben lehet pl. egy 6-10 hektáros terület szántott rétegét, amelynek súlyát a szántott rétegben 15-30 millió kg-ra becsülhetjük, 1-2 kg-os átlagmintákkal jellemezni?

Egy mintavételi terület vagy tábla jellemzése elvileg ugyanolyan megbízható lehet, ha a begyűjtött sok pontmintát megfelelően egyesítjük és az átlagmintákat vagy az egyes pontmintákat analizáljuk (sok analízis) és az adatokat átlagoljuk. Az utóbbi drágább eljárás, de a matematikai átlag előnye, hogy a tábla heterogenitásának mérésére is módot nyújt, elkülöníthetők a foltok és az eltérő termékenységű területek, megalapozhatók a differenciált agrotechnikai eljárások stb.

A talajmintavételi eljárások tekintetében ma már az irodalom többé-kevésbé egységessé vált, összefoglalhatók a tudományos alapelvek. Ezek az alapelvek és az azokra épülő eljárások hosszú történelmi fejlődés eredményei. Megemlítjük, hogy pl. a múlt század közepéig nem találtunk semmiféle útmutatást a kézikönyvekben ill. módszerkönyvekben. Még Sporzon (1865) sem tesz említést vagy nem ismeri a pontminta, átlagminta, ismétlés, hiba stb. fogalmát. A századfordulón Wahnschaffe (1903) "A tudományos talajvizsgálat" című művében átfogóan ismerteti az akkori laboratóriumi módszereket és talajvizsgálati eljárásokat. A talajmintavétel kapcsán még az alábbiakat hangsúlyozza:

"A mintavétel során ajánlott, hogy a szántóföldön ne összekevert átlagmintát vegyünk, hanem mindig jellegzetes egyedi mintákat (Einzelpuben) válasszunk ki. A talajprofil mintázásakor, amikor a lehetőség szerint tipikus profilt keresünk, ez az eljárás teljesen elengedhetetlen."

A rutin talajvizsgálat a mai értelemben nem létezett. A talajvizsgálatok igen ritkák és költségesek voltak. Céljuk elsősorban geognosztikai (ismeretelméleti), csak másodsorban agronómiai. A főbb talajtípusok jellemzésére szolgáló alapvizsgálatokat jelentették mint az ásványi összetétel, fizikai, hő- és vízgazdálkodási paraméterek megállapítását. A termés és a talajvizsgálati adatok összefüggése, mivel ez nagyszámú vizsgálatot és folyamatos szervezett kutatást igényelt volna, igazából fel sem merült. Hiányoztak ehhez amint korábban láttuk a megfelelő analitikai eljárások éppúgy, mint a kisparcellás kísérleti technika vagy a mintavételi módszerek. Csak a két világháború közötti, ill. az azt követő időszakban

jönnek létre a rutin talajvizsgálatok, válnak tömegessé az egyszerű és olcsó "tömeganalízisek". A hazai irodalomban a legátfogóbban Sarkadi (1975), Sarkadi et al. (1986), Kádár (1986) tárgyalták a jelenkori mintavétel problémáit. Főbb megállapításaik az alábbiak:

1. A talaj tulajdonságai és tápanyagtartalma horizontálisan már méterenként, vertikálisan pedig néhány centiméterenként változhatnak. Ebből adódóan egy mintavételi egység, mint a tábla, parcella stb. termékenységének ismérveit csak több részmintából összekevert átlagmintával lehet többé-kevésbé jellemezni.
2. Egy-egy átlagmintát csak a vizsgálat tárgya szempontjából megkívánt mértékig homogén területről lehet venni. Ez a mintavétel egysége, amely általában a genetikailag is azonos talajtípusú területet jelenti, beleértve a talajváltozat és a domborzat stb. azonosságát is. Feltétel, hogy a mintavételi területül szolgáló kisebb táblát vagy táblarészt hosszabb időn át, legalább 4-5 éven keresztül azonos módon kezelték (művelés, trágyázás) és hasznosították.
3. A részminták nem egyesíthetők, amennyiben az összekeverés a vizsgálandó talajtulajdonság meghatározását befolyásolhatja. Így pl. nem keverhetők a karbonátos és a savanyú, vagy az eltérő kötöttségű, a láthatóan is különböző színű, összefoglalóan: az eltérő minőségű talajok.
4. A megfelelő átlagminta keverése feltételezi, hogy a részminták azonos térfogatúak és súlyúak, azonos méretűek legyenek. Végül azonos genetikai szintből származó talajtömeget tartalmazzanak. A mintavevő, ill. a mintavétel technikája, az egységes botfűrók alkalmazása ezt a célt szolgálhatja.

A reprezentatívnak tekintett átlagmintából, pl. az 1-2 kg mennyiségből is csak néhány grammot mérünk be az analízis során a laboratóriumban. A mintavétel fogalma ezért kettős. Beszélhetünk egy terepi külső és egy laboratóriumi belső mintavételről. A reprezentativitás, és a heterogenitás, ill. homogenitás fogalma összekapcsolódik. A mintavétel fogalma tehát tágabban magában foglalja az átlagminta belső heterogenitását, feltételezi annak előkészítését, homogenizálását.

A helyszíni mintavételtől az analitikai eredmények kiszámításáig számos hibaforrással találkozunk. A hibaforrásokat a módszertani kutatások sora próbálta tisztázni, mert azok a tudomány és az alapkutatások örökzöld kutatási feladatait jelentik. Hiszen változnak a körülmények, változik maga a talaj, és újabb elemekre, ill. tulajdonságokra terjednek ki vizsgálataink. Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete pl. fennállása óta foglalkozik a mintavétel és a hibaforrások tudományos elemzésével. A módszertani kutatások meglehetősen fárasztóak és munkaigényesek, ezzel együtt ritkán látványosak.

A kutatások egyértelműen bizonyították, hogy az összes hiba 80-85 %-át magában az átlagmintában, tehát a mintavételben kereshetjük (Hauser 1973). A maradék 15-20 % általában azon hibákat takarja, melyeket a laboratóriumban ejtünk. Beleértve az inhomogén átlagmintából való bemérést, a második mintavételt, valamint a műszeres analízis hibáit. Az egyes laboratóriumok között, köztudottan, lényeges eltérések fordulhatnak elő az elemzési eredményekben. Ferrari és Vermeulen (1955) ezen utóbbi hibákat is az említett 15-20 % részeinek, tehát laboratóriumi hibának tekinti.

Természetesen ez az arány a talaj tulajdonságaitól, tápanyagtartalmától és az alkalmazott kémiai eljárásoktól is függ. A hollandiai gyakorlati célú talajvizsgálatok során végzett lángfotométeres K-meghatározások összes hibaforrását 100-nak véve Vermeulen (1960) pl. azt találta, hogy a laboratóriumi bemérés, tehát az átlagminta inhomogenitása ennek kerekén 4, míg a mintavétel 84 %-a volt. A készülék hibája, valamint az analitikai előkészítés (oldás, pipettázás stb.) hibája másfél-másfél % körüli. A összehasonlító vizsgálatokban részt vett 4 laboratórium közötti hiba nem érte el a 10 %-ot. Részletesebben kell tehát a mintavétel hibaforrásaival foglalkoznunk.

5.8 A talajmintavétel hibaforrásai és a heterogenitás problémája

Amint utaltunk rá, a talaj nem homogén test, tulajdonságai pontról pontra változhatnak. Ez a változékonyság talajtulajdonságokként eltérhet. Így pl. a mészállapot, összes tápanyagtartalom vagy a kötöttség a legtöbb talajon kisebb változékonyságot mutat a talaj genetikájából adódóan. Ilyen esetben a térben egymáshoz közel fekvő területek tulajdonságai is közel állóak, míg a távolabbi területek között nagyobbak az eltérések. Ez az ún. "makroheterogenitás" jelensége, mely a talajképződési folyamatok függvénye. A talajt különböző típusú változékonyság jellemzi. Amennyiben egy talajt vagy talajpopulációt mintavételekkel kívánunk jellemezni, szükséges ezen változékonyság típusainak természetét ismerni. A talaj változékonysága képződési folyamatait, múltját, történetét tükrözi. Ezért is a talajképződési, a genetikai alapelvek a talajosztályozás ismérvei lehetnek. Éles határok azonban az egyes talajváltozatok között ritkák, az átmenetek fokozatosak.

Éles különbségek léphetnek fel a mikrokörnyezet hatása alatt helyileg. Ilyenek a topográfiai, a növénytakaró vagy az emberi tevékenység által létrehozott változások. A felvehető tápelemtartalom széles határok között ingadozhat egy talajváltozaton belül is az eltérő trágyázási vagy meszezési kezelések alatt. Vertikális irányban a változékonyság sokkal markánsabb lehet a talajprofilban, élesebb átmenetekkel. Ebből adódóan a mintavétel során mind horizontálisan, mind vertikálisan kijelöljük a többé-kevésbé "homogén" mintavételi egységeket.

A felvehető tápelemek esetében is tapasztalható a makroheterogenitás. Az elmúlt több évtizedes intenzív műtrágyázási gyakorlat ellenére ma is igazolható pl. a talajok AL-K tartalma és kötöttsége közötti kapcsolat. Egy országos felmérés során 126 mintát vizsgáltunk. A talajok kötöttsége és humusztartalma között meglehetősen szoros ($r = 0.77$), míg a kötöttség és az AL-K tartalom között lazább (0.38), de igazolható összefüggés állt fenn (Kádár et al. 1983).

A mikroheterogenitás azonban domináló. A táblán belül az egyes táblarészek között általában nagyobb a tápelemek szórása, mint a táblák átlagai között. A szórás a mintavételi terület nagyságával nem arányosan, hanem jóval kisebb mértékben növekszik. Mivel nem ismerjük előre a vizsgált tulajdonságok változékonyságát, ezért indokolt a nagyobb táblákon még egységesnek vélt talajon is több, Peck és Melsted (1973) szerint legalább 7-11 átlagmintát venni. A jelenlegi hazai nagyüzemi gyakorlatban kialakult 6 ha-os mintavételi egységekkel ez a követelmény meg is valósítható, állapítja meg Sarkadi (1975).

A példa ereje meggyőzőbb, ezért utalnék Schuffelen et al. (1945, In: Hauser 1973) adataira a talaj mikroheterogenitása kapcsán. Az említett szerzők 1 m² területen minden dm² rácst megmintáztak és meghatározták a talaj felvehető K tartalmát. Az átlagos K tartalmat 100-nak véve, a részminták K tartalma 43-200 % között változott 1 m²-en belül. A mintavételi hiba 40 % volt mintánként. Nem minden talaj mutat természetszerűen ilyen mérvű heterogenitást. A mintavételből eredő hiba azonban többszöröse lehet az analitikai hibának. Ezt megerősíti Jackson (1958), aki több irodalmi forrás alapján 3-6, míg Smith (1959) mintegy 10-szeresére becsüli a talaj heterogenitásából származó hiba lehetőségét. Hasonló következtetésekre jutottunk saját vizsgálataink kapcsán is (Sarkadi 1986).

A talajheterogenitás - a mikroheterogenitásból adódóan - nem függ meghatározóan a mintázandó terület nagyságától. Így pl. a tápelemtartalom 1 m²-en csaknem olyan mérvű szórást mutathat, mint 1 hektáron. A hektáros területen persze lehetnek lényeges különbségek a termékenységekben vagy egy adott elem tartalmában. Ezek az eltérések azonban nem feltétlenül kell, hogy meghaladják a pontminták közötti szórásokat, melyeket egy méteres területen mérünk. Ez azt is jelentheti, hogy ha két tábla között kívánunk különbséget kimutatni a táblaátlagok alapján, táblánként esetleg nagyszámú részmintát kell vennünk ahhoz, hogy az átlagok közötti kisebb eltérést megbízhatóan igazoljuk.

5.9 A részminták számának meghatározása

Az átlagminták képzéséhez szükséges részminták (pontminták) számát a régebbi hazai módszerkönyvek a mintavételi terület függvényében adták meg. Amint említettük azonban, a részminták száma nem annyira a mintázandó terület nagyságától, mint annak heterogenitásától függ. A kis parcellákon sem szabad 10-15 pontmintánál kevesebbet, de a 10-15 ha területű táblákon vagy táblarészekben sem érdemes 30-40 részmintánál többet venni. A jelenlegi gyakorlatunkban 6 ha-onként 20-25 részmintából képezünk átlagmintát. Szabadföldi kísérleteinkben parcellánként szintén 20 pontmintából képezünk átlagokat. Sarkadi (1975) szerint megengedhető, hogy párhuzamos mintavételkor egy-egy átlagmintával 10-12 ha-t jellemezzünk homogénebb talajon.

Maximális precizitást érhetünk el Vermeulen (1960) szerint a gyakorlatban, ha 40 pontmintából keverünk átlagot. Ismeretes, hogy amennyiben egy részminta hibaszórását 100 %-nak vesszük, az átlagminta hibaszórása $1/\sqrt{n}$ tényező szerint csökken. Így pl. 4 pontminta esetén $100/\sqrt{4}=50$ %, 15 részminta esetén 26 %, 40 részmintánál kerekén 16 % lesz. A részminták számának további növelése a hibaszórást már lényegesen nem csökkenti.

A műtrágyázás növelheti a talaj heterogenitását. Az ún. "feltöltött" és tápelemekkel jól ellátott talajon a CV értékek is nagyok. Különösen az AL-P tartalom válhat heterogénné, mert a foszfor nehezen mozog a talajban, csak a rendszeres művelés és forgatásos keverés segíti eloszlását. A mészlepedékes csernozjomon beállított kísérletünkben, melyet korábban ismertettünk (4.12 táblázat), 1973 őszén adtuk ki a feltöltő adagokat. Az első műtrágyaszórást követő 10 hónap múlva, 1974 júliusában a búza aratása után végeztünk mintavételezést.

A 24 m² területű nettó parcellák szántott rétegéből böffűróval 20-20 pontmintát vettünk az AL-PK tartalmak meghatározására eltérő NPK szinteken.

1983 márciusában a mintavételezést megismételtük és kiterjesztettük a 0-20, 20-40 cm rétegekre. Ugyanakkor 2-2 párhuzamos átlagmintát is készítettünk a 20-20 részfűrés mintaanyagának összekeverésével. A párhuzamos átlagmintavételeket ezután kb. 2 hetes időközökben Németh Tamás megismételte a szezon-dinamikai vizsgálatok céljából. A megvett átlagmintákat még aznap a laboratóriumba szállította hűtőtáskában. Egy részükből szárítószekrényes módszerrel meghatároztuk a nedvességtartalmat, nagyobb részüket szobahőmérsékleten légszáraz állapotba hoztuk. Az AL-PK tartalom mellett a KCl-oldható NO₃ és NH₄ koncentrációkat is megmértük (Sarkadi et al. 1986).

Amint várható volt, a szemcsés szuperfoszfáttal trágyázott parcellákon a P viszonylag kis mozgékonyasága miatt az AL-P szórása nagyobb értéket mutatott, mint az AL-K. Különösen nagyok a szórások a műtrágyázást követő első évben. Az 5.10 táblázatban a pontminták analíziseredményeit közöljük. Amint a táblázat adataiból látható, a böffűró ekkor még egyaránt talált "érintetlen" talajfoltot (60 ppm AL-P₂O₅) és műtrágyaszemcsés foltot (2200 ppm AL-P₂O₅) az 1500 kg/ha feltöltő adagú parcellán.

A későbbi mintavétel eredményei (5.11 táblázat) arra utalnak, hogy a műtrágya PK talajbani elkeveredése és eloszlása, valamint előregedése következtében csökken mind az abszolút tápelemtartalom, mind a CV % a szántott rétegben. A mélységgel azonban a szórás inkább nő, mint csökken közel azonos PK tartalom esetén. Ez részben a mélyebb mintavétel technikai nehézségeivel, részben a talajszelvény vertikális inhomogenitásával magyarázható. A mélyebb rétegek jellemzésére elvileg tehát nem kevesebb részmintára volna szükség, mint a szántott felszínre. A gyakorlatban azonban drasztikusan csökken a szántott réteg alatti talaj PK "szennyezettsége", ebből adódóan a CV értéke is.

A részminták száma a talaj heterogenitásától, valamint a mintavétel céljától függ. Azaz attól, hogy milyen pontossággal kívánjuk az elemzések eredményeit felhasználni. Ha feltételezzük, hogy az átlagminták készítésekor tökéletesen kevertük össze a részmintákat és keverés közben nem ment végbe olyan reakció, amely a vizsgálandó paraméter meghatározását befolyásolja, akkor az átlagminta szórása $s_{x\text{átl}} = \sqrt{s/n}$ képlet szerint csökken. Ebből a részminták száma $n = \sqrt{s/s_{x\text{átl}}}$. Ezt az összefüggést szemlélteti az 5.12 ábra.

Az 5.10 táblázat adataiból megbecsültük a középértékek szórását a mintaszám függvényében 1974-ben aratás után. A különbözőképpen ellátott (trágyázott) talajon az AL-P és az AL-K tartalmak középértékeinek abszolút szórása ugyan eltért, az AL-P tartalmak esetén ezek az értékek kereken háromszorosát tették ki az AL-K értékeknek, de a tendencia azonos volt. Sajnos egy terület heterogenitását legtöbbször előre nem ismerjük. Általánosítható tapasztalat, amint ezt Peck és Melsted (1973) is megerősíti, hogy minél intenzívebben trágyázott a talajtanilag és agronómiailag egyébként egységesnek tekinthető mintavételi terület, annál nagyobb a mikroheterogenitás és így annál több rész minta szükséges a reprezentatív átlagminta készítéséhez.

5.10 táblázat: A talaj szántott rétegének mikroheterogenitása a trágyázottság függvényében. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1974. (Pontminták AL-PK tartalma a trágyázást követő 10. hónapban)

Pontminták sorszám	<u>P₂O₅ kg/ha 1973 őszen</u>			<u>K₂O kg/ha 1973 őszen</u>		
	0	500	1500	0	500	1500
	AL-P ₂ O ₅ ppm			AL-K ₂ O ppm		
1	80	340	1720	134	252	672
2	48	180	1090	110	178	480
3	52	150	300	114	240	420
4	45	225	348	126	370	340
5	48	120	1230	124	250	440
6	50	130	1575	114	193	790
7	53	148	2200	126	188	950
8	50	288	204	114	348	420
9	56	84	1045	130	206	412
10	56	206	536	112	225	328
11	54	228	540	106	212	496
12	56	158	360	124	288	372
13	50	168	120	106	212	200
14	52	625	60	120	420	208
15	48	345	72	106	540	228
16	52	145	280	123	276	356
17	47	105	436	128	276	252
18	57	108	830	114	268	448
19	69	166	935	138	188	464
20	56	178	340	114	264	330
min	45	84	60	106	178	200
max	80	625	2200	138	540	950
max/min	1.7	7.4	36.7	1.3	3.0	4.8
Átlag	54	205	711	119	270	430
CV %	15	60	85	8	33	44

5.11 táblázat: A pontminták AL-PK tartalmának %-os szórása a tápanyagellátottság, valamint a mélység függvényében (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, n=20)

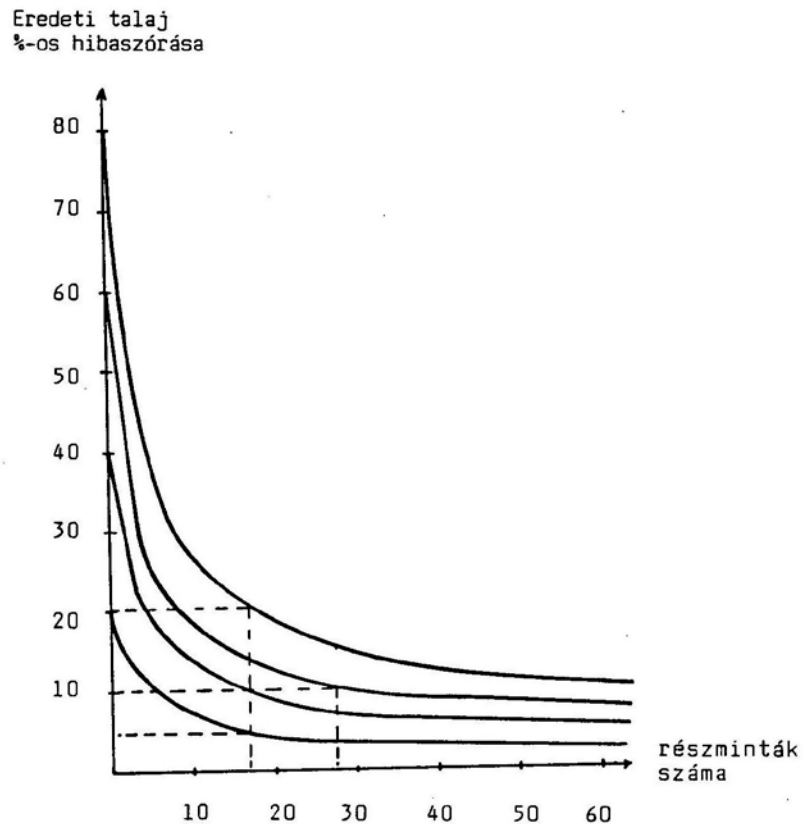
1974 július		1983. március				1974. és 1983			
0-20 cm		0-20 cm		20-40 cm		40-60 cm		évek átlaga	
x	CV	x	CV	x	CV	x	CV	x	CV
AL-P ₂ O ₅ ppm									
54	15	71	30	48	16	30	14	51	19
205	60	164	38	78	26	32	20	120	36
231	70	171	45	89	35	38	52	132	50
711	85	447	39	186	54	60	44	351	56
AL-K ₂ O ppm									
119	8	130	15	103	11	58	16	102	12
248	35	136	17	110	12	84	14	144	20
270	33	171	19	128	8	90	14	165	19
430	44	268	20	172	17	108	14	244	24

Az 5.11 táblázat adatai arra utalnak, hogy ezen a talajon a 150-200 ppm AL-P₂O₅ tartalommal jellemzett "kielégítő" ellátottság 40-60 % hibaszórást mutat. Ha a részminták szórását 50 %-nak vesszük és az átlagminta szórását 15 %-ra kívánjuk leszorítani, akkor legalább

$$n = \frac{s^2}{\bar{s}_x^2} \cdot \frac{(\text{részminták szórásnégyzete})}{(\text{átlagminta szórásnégyzete})} = \frac{50^2}{15^2} = \frac{2500}{225} = 11 \text{ részfűrés szükséges.}$$

Ha az átlagminta szórását pl. 10 vagy 5 %-ra kívánnánk leszorítani, akkor az előbbi számítás szerint 36, ill. 144 részfűrésre lenne szükség egy átlagminta képzéséhez. E talaj nem trágyázott, gyengén ellátott parcelláin ugyanakkor az átlagminták 10 %-os szórását már 4 pontmintával elérhetjük. A gyakorlatban a részminták egyesítése, ill. az átlagminta homogenizálása sosem tökéletes és ilyenkor már az analitikai hiba sem elhanyagolható. Az átlagminta tápanyagtartalmának szórása tehát az ily módon számítottnál valamivel nagyobb lehet.

5.12 ábra: A %-os szórás és a részminták számának összefüggése (Sarkadi - Németh - Kádár 1986)



5.10 A párhuzamos átlagmintavétel és az ismételt laborvizsgálat

A talajvizsgálatok hibaforrásainak eloszlásából következik, hogy azok pontosságát és megbízhatóságát kevésbé tudjuk növelni, ha ugyanazon a talajmintán a vizsgálatokat esetleg többször is megismételjük. Az sem járhat komoly előnnyel, ha a részminták számát pl. 30 fölé emeljük. Amennyiben precízebb ítéletre törekszünk, két v. három átlagmintát vegyünk a jellemezni kívánt területről egy átlagminta helyett. A hibaszórás így jelentősen csökkenthető, ill. megítélhető a mintavétel hibája is.

A párhuzamos mintavétel különösen a kisebb táblák mintázásakor indokolt. Itt ugyanis, 6 ha-os egységekkel számolva aránylag kevés mintát veszünk és eltérő elemzési eredmények esetén nehéz a mintavétel hibájának becslése. A párhuzamos mintavételkor helyesebb, ha egy mintavételi területen két mintavevő halad

kézi mintavételkor. Sarkadi (1975) szerint ez a módszer lélektani szempontból is előnyös lehet és növeli a biztonságot. Ha egy mintavevő dolgozik, úgy célszerű a páros és a páratlan fúrások mintáit külön zacskóba helyezni és ezzel képezni az átlagmintákat.

Elvileg az átlagminta annak a talajnak az átlagos összetételét adja megfelelő homogenizálást követően, amelyből áll. Amint utaltunk rá (5.10 táblázat), saját vizsgálataink szerint is az átlagminták AL-PK értéke és a pontminták AL-PK tartalmának statisztikai átlaga közelálló volt. Az egyedi minták adataiból számolható az átlagtól való standard eltérés. Az egyedi minták nagy változékonysága, az extrém nagy mikroheterogenitás azonban nem mindig fontos a növény növekedése szempontjából. A gyökerek ugyanis meglehetősen nagy talajtérfogatot hálózhatnak be, így a mikroszintű változékonyságot kiegyenlíthetik. A talajban a trágyázás (pl. sortrágyázás, feltöltés) során helyileg létrehozott tápelem aránytalanságokat a növény ellensúlyozni képes és bizonyos fokig pufferozza a túlkínálatot. A legtöbb szántóföldi növény gyökere 1-2 m sugarú és mélységű henger alakú talajtérfogatot hálózhat be. A rutin talajmintavételeink ugyanakkor csak a felső "hasznos" talajtérfogatra terjednek ki, amely mind agrotechnikai, mind növényélettani és talajbiológiai szempontból meghatározó.

5.11 Az átlagminta képzésével szembeni követelmények

A valóban reprezentatív, megbízható átlagminták képzéséhez Cline (1944), Reed et al. (1953), Jackson (1958), Vazsenyin (1963), Peterson és Calvin (1965), Sarkadi (1975), Kádár (1986) szerint az alábbiakat kell szem előtt tartanunk:

1. Minden részminta azonos térfogatú legyen és a mintázandó terület azonos méretű egységét fedje le, valamint azonos szintből származó talajtömeget tartalmazzon. Kézi mintavételnél botfúrót vagy mintavevő csövet használunk. A mintavevő eszközre célszerű olyan, csavarral rögzített tárcsát vagy lemezt felszerelni, amely pl. a fúró 20-25 (szántó), ill. 10 (gyepek) cm-nél mélyebb lehatolását megakadályozza.
2. Sűrű növényzettel borított területen a felső 1-2 cm talajréteget el kell távolítani. Kívánatos a kis térfogatú, 1-2 cm átmérőjű fúró használata, mert így az átlagminta térfogata a 0.5-1.0 litert nem haladhatja meg. Újabb hibaforrást jelenthet ugyanis, ha a nagyobb tömegű átlagmintát a helyszínen nem megfelelő módon összekeverjük, és egy részét eltávolítjuk, mielőtt a laborba érkezne.
3. A részmintákat véletlenszerűen kell venni a mintázandó területről. Kézi vételnél cikcakk bejárással a művelés irányára, a lejtőre keresztirányban. Az egyes fúrások helyének kijelölése vitatott a mintavételi egységen belül. Elvileg a mintázandó területet egységesen kell behálózni. Ezt a követelményt jól kielégítheti a szisztematikus mintavétel, amikor pl. szabályos négyzetháló vagy rács megfelelő pontjain vesszük a részmintákat.

A szisztematikus mintavétel is okozhat azonban torzítást, pl. ha mechanikusan járunk el olyan területen, ahol többféle talajváltozat keveredik kis távolságon belül (szikfoltok, erodált vagy meszes csíkok stb.). Előfordulhat szántáshiba, műtrágyázott forgó, melyeket a szisztematikus eljárás nem vesz figyelembe. Ilyen és a szemmel nem látható más torzítások kiküszöbölésére is legalkalmas-

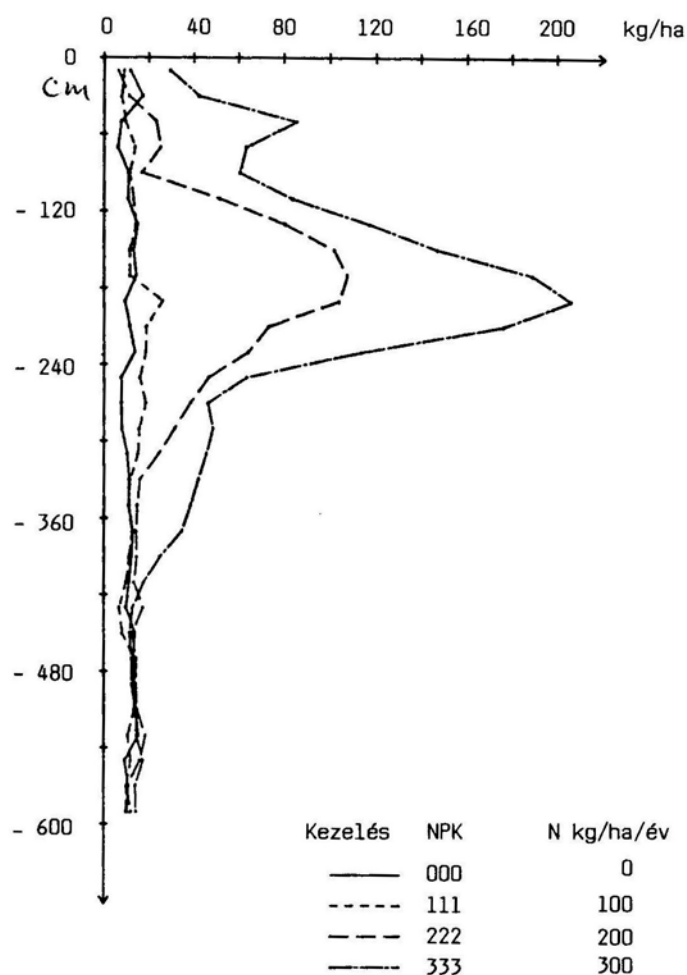
sabb a véletlen vagy random mintavétel. Tehát amikor a mintázandó területet egyenletesen, de véletlenszerűen járjuk be cikcakk vonalakban.

4. Az olyan mintavétel, amikor az egész táblának csak egy kiragadott részéről vesszük a mintákat, mint pl. az egyik átló mentén vagy a terület sarkáról, esetleg a közepéről - nem tekinthető reprezentatívnak. Amikor a nagyméretű táblákat 5-10 vagy még több résztáblára osztjuk megengedhető a haladás egy-egy résztábla átlója mentén. Ezzel ugyanis végső soron az egész területet már cikcakk módszerrel járjuk be.
5. Minden kézikönyv hangsúlyozza, hogy a jól elhatárolható talajváltozatokat, foltokat külön kell mintázni. Amit nem hangsúlyoznak, hogy a foltokon is a párhuzamos mintavétel szabályait kell alkalmazni. A talajvizsgálatoknak éppen egyik célja, hogy a tábla termékenységében fennálló különbségeket feltárja. A tábla "átlaga" ugyanis azt jelentheti, hogy egy részét pl. alultrágyázzuk, míg a másik részét túltrágyázzuk. A növénytermesztés egyik nagy tartalékát, a mű-trágyázás hatékonyságának növelését éppen a homogén és a kiegyenlített termékeny táblák jelenthetik.
6. A kisebb és nem egybefüggő, azonos talajtípust képviselő foltok részmintáit összekeverjük, de a térképvázlaton az eltérő foltok helyét feltüntetjük. A külön nem kezelhető kisméretű foltokat, amelyeket a művelés-trágyázás során sem vehetünk figyelembe, a mintavételből kizárhatjuk. Ugyancsak kihagyjuk a mintavételből a tábla szélén a forgókat, köves utak mentén legalább 10-15 m sávot, régi tanyák helyét, fasorok, vakbarázdák, elszántott utak, trágyakazlak és mészdépók nyomait.
7. A mintavétel mélysége a vizsgálat céljától függ. Amint korábban láttuk, a NO_3 kilúgzásának nyomon követésére több méter mélységig kellett mintáznunk (5.13 ábra). A rutin szaktanácsadás során azt a talajréteget mintázzuk, amelyből a növények a tápanyagok zömét felveszik és a gyökereik nagyobb része is található. Ennél sekélyebb vagy mélyebb talajrétegek mintázása egyaránt csökkentheti a szaktanácsadás megbízhatóságát.
8. A szántótól eltérően a gyepeken nincs forgatásos művelés, mely homogenizálná a talajt a forgatás mélységéig. Ezért rendkívül fontos, hogy minden részfúrás azonos mélységet érintsen. A mélyebb fúrással ugyanis erősen felhígulhat a talaj felvehető tápanyagtartalma és így félrevezető átlagmintát kaphatunk. Ma már általánosan elterjedt az ásványi N meghatározása szaktanácsadási célokra, ezért a mintavétel rutinszerűen kiterjedhet gyepeken is a 20-40, ill. 40-60 cm rétegekre. Itt is az átlagmintaképzés korábban leírt szabályai mérvadóak.
9. Amennyiben nem rutin szaktanácsadás a célunk, hanem a talajképződés vagy a talajpusztulás folyamatairól, a potenciális termékenységről gyűjtünk több információt, a teljes talajszelvény mintázására törekszünk. Ilyenkor kíváncsiak a talajképző közetig feltárni a szelvényt, hogy a geokémiai mállás teljes mélységéig mintázhassunk. Ha ilyen módon pl. egy régóta művelt, és művelésbe nem vont talajt hasonlítunk össze, törekednünk kell arra, hogy a két szelvény minél közelebb helyezkedjen el. Fontos ezen túlmenően, hogy mikrodomborzatilag (talajfelszín, erodáltság, mikroklimatikus viszonyok stb.) hasonló környezetben legyenek.

A fent említett talajprofil mintázásakor az adott talaj heterogenitásának mértékét kellene ismernünk az x vagy y tengely mentén különböző irányban. Ehhez több szelvényt kell feltárni és megmintázni elvileg úgy, hogy azok talajfejlődési sort adjanak. Ilyen módon jellemezhető a szisztematikus változékonyság és mintegy "belső ismétlések" nyerhetők. Összefoglalva, ebben az esetben nem átlagmintákat veszünk, hanem a változó minőséget genetikai szintenként vett egyedi mintákkal jellemezzük.

5.13 ábra

A $\text{NO}_3\text{-N}$ (kg/ha) mélységi eloszlása a tartamkísérlet 0-600 cm-es rétegében
(Németh és Kádár 1991)



5.12 A mintavétel ideje és a talajvizsgálatok szezondinamikája

A legtöbb kézikönyv megelégszik azzal a megállapítással, hogy a mintavétel a talaj művelhető állapotában végezhető. A frissen trágyázott táblákról nem ajánlott a mintavétel, míg optimálisnak a termés betakarítása és a következő alaptrágyázás közötti időszakot jelölik. A vetetlen táblák mintázása előnyösebb lehet Sarkadi (1975) szerint, mert a talaj színe és egyéb talajtulajdonságai jobban észrevehetők. Így nagyobb biztonsággal kijelölhetők a "homogén" mintavételi egységek, táblarészek vagy parcellák.

A korszerű, naponta több száz minta vizsgálatára berendezett laboratóriumok ellátására nem elegendő csupán a termések betakarítása és az újabb trágyázás közötti időszakban nyert minta mennyisége. Szükséges a mintavétel időszakának kiterjesztése. Vizsgálnunk kell a folyamatos mintavétel lehetőségeit. Meg kell ismernünk a talajvizsgálati paraméterek időbeni változékonyságát, dinamikájukat, kiváltó okait. Amennyiben egy talajon mért tulajdonságot olyan mérvű változékonyság jellemez, amely az arra épülő szaktanácsadás megbízhatóságát megkérdőjelezheti, nem alkalmas a talaj jellemzésére. Itt elsősorban a felvehető talajtápanyagokra, talajbani koncentrációikra, ellátottsági kategóriába sorolásukra gondolunk.

A talaj agrokémiai paramétereinek időszakos változását többen a talaj nedvességtartalmával és hőmérsékletével próbálták összefüggésbe hozni. A szerzők egy része ebből eredően még a talajok könnyen oldható PK tartalmát sem tartja viszonylag állandó és térképezhető talajjellemzőnek (Fehér et al. 1939, Brouwer 1949, Sik és Schönfeld 1952). Szabadföldön azonban nem sikerült ilyen egyértelmű dinamikát igazolni. A megfelelő részletességgel és hosszú időn át végzett mérések azt mutatták, hogy a talajtápanyagok oldódása és lekötődése függ ugyan a nedvességállapottól és a talajhőmérséklettől, de ez az összefüggés nem egyirányú, hanem összetett és nehezen előrejelezhető.

Áttekintve az idevágó irodalmat pl. Fitis és Nelson (1956) arra a megállapításra jutnak, hogy a talaj nedvességállapotának megváltozása a talaj pH-jának és sótartalmának változásán keresztül hat pozitív vagy negatív irányban a tápanyagok felvehetőségére. Modellkísérletben Keresztény (1953) 12 észak-dunántúli talajt teljes vízkapacitás mellett 3-6 hétig 28 °C -on érlelt. A 8 pH(H₂O) alatti talajok DL-P tartalma jelentősen, 100-200 ppm P₂O₅ értékkel nőtt.

Ezzel szemben Simpson és Williams (1970) kísérleteiben a savanyú talajok anaerob érlelése jelentősen csökkentette az Olsen-P koncentrációit. Feltételezésük szerint a talajok szervesanyag-tartalma, valamint a Fe vegyületek átalakulása, ill. a pH és a redox változása idézte elő ezeket az eltéréseket. Igen részletes vizsgálatokat végzett szabadföldön Childs és Jencks (1967). Adataik szerint a Mehlich szerinti PK tartalom havonként mért értékei egymástól esetenként szignifikánsan is eltértek. Nem voltak azonban ezek az eltérések összefüggésben sem a havi átlagos hőmérséklettel, sem a csapadékösszegekkel.

A talajok felvehető K tartalma az általános felfogás szerint a talajok kiszáradásával növekszik. Ugyanakkor arra is találunk irodalmat, hogy a talajok nedvesedése a DL-K tartalom emelkedését eredményezte. Schaffer (1955) szerint a nedvesedés oldatba viheti a talaj K vegyületeit. A nedvességállapottal

összefüggő levegőzöttség is befolyásolhatja az oxidációs-redukciós folyamatokat és ezen keresztül a Fe, Mn, Cu oldhatóságát. Így Schilling és Beer (1967) azt találták, hogy a Schachtschabel-Mn tartalom 3-4-szeresére növekedhet a kiszáradt talajok átnedvesítésekor. Kétségtelen azonban, hogy a mintavétel technikája már eleve határt szab a talajállapot extremitásának. Csak a nem kenődő, a mintavevő eszközhöz nem tapadó, ugyanakkor nem túl száraz és áthatolhatatlanul össze-tömörült talaj mintázható. A mintavétel tehát többé-kevésbé a művelésre alkalmas talajnedvesség állapotban végezhető.

Szinte a 70-es évekig teljes egyetértés uralkodott az irodalomban a tekintetben, hogy a talaj vízdoldható N vegyületeinek, elsősorban a NO_3 koncentrációja a talajban erősen változik. Mindezt nemcsak a víz vertikális mozgásával, hanem biológiai okokkal, mint a beépülés (immobilizáció) és a bomlás (mobilizáció) hozták összefüggésbe. Ebből adódóan a talaj N szolgáltatását, az uralkodó vélemény szerint a $\text{NO}_3\text{-N}$ mennyiségével, tehát a "pillanatnyi" NO_3 koncentrációival nem becsülhetjük. A mai szaktanácsadásunk, legalábbis a jól szellőzőtt és jó vízgazdálkodású talajokon iránymutatóul fogadja el a talaj 0-60 vagy 0-90 cm rétegének $\text{NO}_3\text{-N}$ készletét a N igény megállapításában. Amint korábban bemutattuk, még a $\text{NO}_3\text{-N}$ is felhalmozódhat a talajban és műtrágya egyenértékű N készlete a trágyaigény becslésekor figyelembe vehető.

A folyamatos mintavétel lehetőségeit is vizsgálva Krámer (1979) arra a következtetésre jut, hogy a nedvesség és a hőmérséklet hatással van a talaj tápanyagainak oldhatóságára. Ez azonban a mintavételre alkalmas talajállapot határain belül nem kérdőjelezi meg a szaktanácsadást. Hasonlóképpen a talajok biológiai aktivitása, szerves anyagainak ásványosodása, ill. az ásványi anyagok immobilizációja befolyásolja a felvehető tápelemek mennyiségét, súlyuk azonban hibahatáron belül marad. Sokkal nagyobb lehet ugyanis a szokásos trágyákkal bevitt tápelemek mennyisége, ill. a mintavétel és az analízis hibája.

Lássuk saját vizsgálataink eredményét. Amint arra korábban, az 5.11 táblázat kapcsán utaltunk, a kísérletünk eltérő tápláltsági szintjeit reprezentáló parcellák 3 rétegéből 19 alkalommal 2 párhuzamos átlagmintát vettünk. A 0-20 cm rétegek AL-PK tartalmának időszakos változásait az 5.14 táblázat mutatja. A parcellánként és az itt nem közölt rétegenként végzett varianciaanalízisekből kitűnt (Sarkadi et al. 1986), hogy az időpontok közötti szórás több esetben bizonyítható volt.

Az adatokból ugyan határozott szezondinamika nem ismerhető fel, de szemmel láthatólag tavasszal nagyobbak az ingadozások, mint betakarítás után augusztusban. Ezeket a talajban végbemenő biotikus és abiotikus folyamatokon túl véletlennek tekinthető tényezők is okozhatták. Így pl. a rétegmélységek a mintavételnél eltérhettek stb. Ezt valószínűsítheti, hogy a különböző parcellákon az AL-PK értékek változásának iránya nem azonos.

A 0-60 cm réteg $\text{NH}_4\text{-N}$ és $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalmának változásait az 5.15 táblázatban közöljük. Megjegyezzük, hogy a $\text{NO}_3\text{-N}$ tulajdonképpen ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$)-N mennyiséget jelent, de a NO_2 elhanyagolható mennyiségben volt jelen. Amint látható, a 0-60 cm réteg $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalma gyakorlatilag nem függött a trágyázástól. Hasonlóan szellőzőtt talajon tehát a szaktanácsadás céljaira elsősorban a NO_3 tartalmat célszerű meghatározni. Utóbbi művelet sem problémamentes azonban,

hiszen a NO_3 is szezonidinamikát mutat. A 0-60 cm réteg ásványi N készletében a trágyázás korábban is meghatározó volt (5.16 ábra).

5.14 táblázat: Átlagminták AL-PK tartalmának időszakos változása a szántott rétegben (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1983)

Mintavétel ideje		<u>P₂O₅ kg/ha 1973-1983</u>			<u>K₂O kg/ha 1973-1983</u>		
		0	1000	3000	0	2000	3000
		AL-P ₂ O ₅ ppm			AL-K ₂ O ppm		
III.	15.	69	179	459	114	146	324
	30.	76	172	474	115	163	302
IV.	12.	65	186	428	105	151	277
	26.	112	151	374	150	165	242
V.	11.	64	183	567	117	166	309
	24.	68	229	471	98	196	287
VI.	06.	66	161	458	98	144	230
	23.	63	135	451	118	213	291
VII.	05.	60	150	446	109	164	281
	19.	66	162	478	102	148	258
VIII.	02.	67	162	434	99	182	266
	16.	61	152	472	93	147	264
	30.	69	203	514	99	145	280
IX.	14.	66	172	412	103	169	264
	28.	72	162	479	119	154	268
X.	12.	64	158	416	103	157	249
	26.	68	188	480	116	163	252
XI.	09.	60	176	453	117	172	254
	23.	60	189	446	107	190	240
SzD ₅ %		6	29	52	13	25	35
Átlag		68	172	458	108	165	270

A mák jelzőnövényt 1983. III. 17-én vetettük el és VII. 22-én takarítottuk be. A következő évi repce alá VIII. 31-én juttattuk ki a N-adagok felét, majd IX. 14-én került sor a repce vetésére. A műtrágyázás tükröződik a NO_3 tartalmakon. Részben feltehetően az "ugarhatás" miatt, a trágyázatlan kontrollon is nőtt a NO_3 -N tartalom. Összefoglalva a mintavételekkel kapcsolatos kísérleteink eredményeit megállapíthatjuk, hogy:

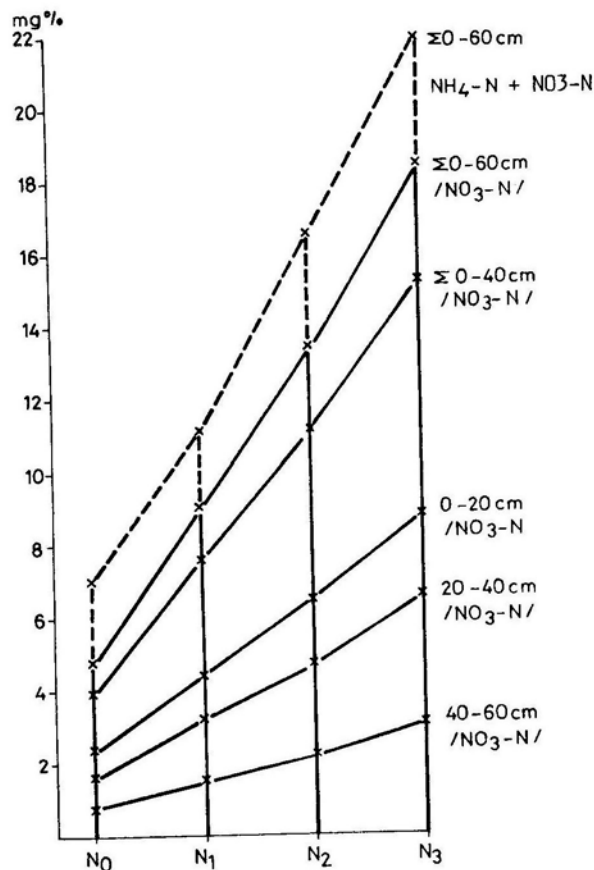
5.15 táblázat: Átlagminták KCl-kicserélhető N tartalmának időszakos változása a 0-60 cm rétegben. Sarkadi et al. 1986. (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök 1983)

Mintavétel ideje	N kg/ha 1973-1983. között pétisó formájában évente					
	0	200	300	0	200	300
	NH ₄ -N ppm			NO ₃ -N ppm		
III. 15.	7	8	6	11	20	30
30.	6	5	6	9	15	28
IV. 12.	7	6	7	12	15	20
26.	4	8	5	11	19	22
V. 11.	9	9	8	15	18	31
24.	5	4	4	9	14	25
VI. 06.	4	7	5	13	15	20
23.	9	7	6	11	14	22
VII. 05.	9	8	7	12	16	28
19.	11	10	8	14	16	30
VIII. 02.	9	9	7	11	18	23
16.	12	12	14	13	20	26
30.	17	17	14	20	22	37
IX. 14.	19	20	18	20	36	47
28.	6	4	3	18	25	39
X. 12.	11	8	10	19	31	50
26.	16	16	19	22	34	47
XI. 09.	11	12	13	20	32	51
23.	14	13	12	17	27	41
SzD5%	2	2	2	2	2	4
Átlag	10	10	9	15	21	32

1. A műtrágyázás intenzitásával nőhet a felvehető NPK tartalom mikroheterogenitása. Az AL-P tartalmak CV %-a a trágyázatlan csernozjomon 20, a közepesen ellátotton 30-40, míg a jól ellátotton 40-60 körül alakult átlagosan. Az AL-K, valamint a KCl-NO₃ %-os szórása szintén 1.2-2.0-szeresére nőtt a trágyázással. A feltöltő trágyázást követő első évben az AL-PK értékek CV %-ai mintegy megkétszereződtek a szántott rétegben.
2. A mélységgel nem csökkent a felvehető tápelementtartalmak szórása. Szaktanácsadási célokra a 15-20 pontmintából kevert átlag jellemezheti megfelelően mind a szántott, mind a mélyebb rétegek ellátottságát.
3. A felvehető tápelementtartalmak ugyan határozott szezondinamikát nem mutatnak, de jelentősek és bizonyíthatóak az eltérések minden vizsgált elem tartalmában a mintavételi időpontok között. Legfeljebb egy ellátottsági kategóriával ítéltjük meg tévesen a talaj ellátottságát.
4. A rendszeres N trágyázás a talaj NO₃ tartalmát növelte a 0-60 cm rétegben, míg az NH₄-N koncentráció gyakorlatilag nem változott. Feltehetően az "ugarhatás" miatt a kontroll talajon is nőtt azonban 40-60 %-kal átlagosan a

NO_3 tartalom. Ezen a talajon alacsony ellátottságot jelentett, ha tavasszal a 0-60 cm réteg $\text{NO}_3\text{-N}$ készlete 100 kg/ha alatti; közepeset a 100-180 kg/ha, míg az e feletti N mennyisége már magasnak vagy károsnak minősült.

5.16 ábra: A N műtrágyázás hatása a talaj könnyen kicserélhető N tartalmára
(Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1981)



Nagyobb lehet egy tápanyag szezonális változása, ha érzékenyebb, vízdoldhatóbb frakcióját mérjük. Az AL-PK tartalmak inkább a kapacitás faktor jellemzésére szolgálnak, állandóbbak és többé-kevésbé térképezhetők. Az összes tápelemtartalom, humusz, kötöttség CaCO_3 mennyisége szezonális változásoknak már nincs kimutathatóan alávetve. Amint láttuk, a szaktanácsadásunkban használatos felvehető tápelemtartalmak szignifikánsan eltérhetnek a mintavételi idő függvényében megbízható mintavétel és analízis esetén is. Ez az eltérés azonban nem azt jelenti, hogy egy gyengén ellátottnak minősülő talajt a következő mintavételnél (következő évben) jól ellátottnak találunk vagy fordítva. A változás tehát nem jelent minőségi ugrást, legfeljebb egy ellátottsági kategóriával való elcsúszást.

A növényi borítottság, ill. a termesztett növény is befolyásolhatja a felvehető elemtartalmakat. Nem annyira a növényi felvétel miatt, hiszen az egy tenyészidő alatt a mikroelemek, de még a P esetében is hibahatáron belüliek, hanem inkább feltehetően mikroklimatikus hatásaival. Mindenesetre számos irodalmi utalás szerint a felvehető tápelemtartalom a tenyészidő kezdetén és végén magasabb lehet, mint az intenzív vegetáció alatt. Ezt a K esetében pl. úgy javasolják figyelembe venni Illinois szaktanácsadásában, hogy amennyiben a talajmintavétel május 1. előtt vagy szeptember 30. után történt, úgy a K_2O adagokat 33-67 kg/ha mennyiséggel növelik a talajtól függően (Illinois Agronomy Handbook, 1985-1986).

A tápanyagok időszakos változásai a szántott rétegben annál nagyobbak lehetnek, minél gyakrabban bolygatják a talajt. Ez elsősorban abból adódhat, hogy a forgatásos művelés mélysége változik. Intenzív műtrágyázás viszonyai között azonban a talajok rendszeres művelése, keverése a heterogenitás csökkenéséhez, a talaj-trágya reakciók gyorsulásához vezet. Különösen fontos ez a nem mobilis trágyaszerek esetében. Ugyanilyen hatású az egyenletes trágyaszórást biztosító technika fejlődése is.

A felvehető tápanyagok időszakos változását megszabó tényezők közül legfontosabb a trágyázás. Az adagtól, az alkalmazás módjától és a trágyaformától függő mértékben növeli a tápanyagok koncentrációját a bevitel helyén. Fokozza a talaj tarkaságát, heterogenitását, helyileg megváltoztatja a talaj pH-ját. Külön mintavételi problémát jelenthet a sortrágyázás. Idővel a trágyák a talajban átalakulnak, esetleg a mintázandó rétegekből kimosódnak, gáz alakban eltávozhhatnak. Egyensúlyi, viszonylagos nyugalmi állapot is létrejön. Minél mozgékonyabb egy tápelem, annál gyorsabban beáll ez az állapot.

A felvehető tápelemek dinamikájára vonatkozóan meglehetősen ellentétes vélemények is előfordulhatnak az irodalomban. Az eltérő vélemények egyik oka, hogy az alkalmazott oldószerektől függően a kapott eredmények időbeni változékonysága nem azonos. Másrésről a szerzők gyakran nem választják szét a mintavételi, valamint az analitikai hibát a szezonális változásoktól. Mindenesetre az egyes szerzők által említett kora tavaszi és késő őszi kiugró talajvizsgálati értékek figyelmeztetnek arra, hogy a 3-5 évenkénti mintavételek során lehetőleg egyazon időpontban vegyünk a mintákat.

Hangsúlyozni kell, hogy a talajvizsgálati információk zöme a szántott rétegre vonatkozik. A talajok P és K ellátottságára vonatkozó határértékeket pl. a szántott réteg felvehető PK-tartalmára, valamint a termés összefüggésére alapozzák. Ez a réteg meghatározó jelentőségű növény táplálási szempontból, ide keverjük be a trágyákat, valamint a tápelemek felvételének zöme is innen ered. A trágyázási szaktanácsadásban (a N kivételével) döntően a szántott réteg TVG eredményeire, ellátottságára építünk. A szántott rétegek alatti talaj természetszerűen tápanyagokban szegényebb. Az altalaj felvehető készlete szintén befolyásolja a trágya-igényt, ezt azonban a szabadföldi kísérlet figyelembe veszi a határkoncentrációk megállapítása, tehát a kalibrálás során. Amennyiben az altalaj igen szegény, nyilvánvalóan nagyobb trágyaadagot, ill. felvehető tápelemek koncentrációt igényelhet a növény a szántott rétegben. Idővel az altalaj is

gazdagodik, hiszen a táp-elemek a talaj természetes keveredésével részben eljutnak az alsóbb rétegekbe is.

5.13 Talajvizsgálatok megítélése a hazai agronómiai, agrokémiai gondolkodásban

Talajvizsgálatok 'Sigmond előtt

A talajvizsgálatok megítélése változott az idők folyamán. Tekintsük át ezt az utat a magyar agrokémiában, vázlatosan néhány kimagasló képviselőjének munkásságát érintve, amelyek a fejlődés láncszemeit reprezentálják. Elsőként, tudomásunk szerint Sporzon (1865) foglalta össze magyar nyelven a talajjal, talajvizsgálatokkal, általában a talaj termékenységével kapcsolatos akkori ismereteket. Véleménye szerint a talaj értéke és termőképessége annak gazdagságától és erejétől függ:

"A talajnak gazdagsága alatt értjük annak tartalmát, vagyis azon ásványi és szerves anyagoknak összegét, melyeket valamely föld a gazdaságilag fontos rétegekben tartalmaz. A talaj ebbeli tartalmának azon része, mely a növények táplálkozására már is alkalmas, tehát átvehető állapotban van, a talajnak erejét képezi.

A talajnak gazdagsága feltételezi a jövedelemnek tartósságát, ereje pedig a jövedelemnek magasságát; amaz képezi a növényi tápszereknek általános, ez viszonylagos tartalmát. Eszerint megkülönböztethetünk egyszersmind általános és viszonylagos talajgazdagságot, ez utóbbit egyértelműnek véve a talaj erejével."

A továbbiakban megállapítja, hogy valamely talaj nem azért terméketlen, mert bizonyos tápanyagok abszolút hiányoznak benne "...hanem azért, mert amaz alkatrészek oly állapotban nincsenek, minőben a növények gyökerei által egyedül felvehetők. Azoknak t.i. mint már tudjuk, vízben oldható, tehát a növényekre nézve emészthető alakban kell lenniök." Véleménye szerint elvileg közvetlenül is meghatározható a talajerő talajvizsgálattal, a talaj vizes kivonata útján. Ilyen vizsgálatokról azonban nem tájékoztat hazai talajokon.

Az 5.17 táblázatban megkíséreltünk áttekintést adni az akkori talajelemzésekről. A táblázatban csak a hazai talajokon végzett analízisek eredményeit tüntettük fel, melyek összevethetők, egységes módszertant és nevezéktant alkalmaztak. A vizsgálatok hibája nehezen becsülhető, de a 9 talajból 3 esetén az összeg pl. nem egyezik.

Nehezen elképzelhető, hogy a "timföld" a feltalajban 2 %, míg az altalajban 11 % körüli (Gyula-Varsánd) stb. Ezek a vizsgálatok tehát még igen kezdetlegesek, durvák, pontosan nem különülnek el az ásványi elemek és összetevők. Fel sem merül a talajvizsgálati adatok és a trágyahatások közötti összefüggések vizsgálata. Az említett analízisek nem véletlenül Szabó (1861) "Geológiai viszonyok és talajok ismertetése" című munkájából valók és vajmi kevés közülük van az agronómiához.

5.17 táblázat: Néhány talajváltozat %-os ásványi összetételének jellemzése Szabó (1861) nyomán. In: Sporzon (1865)

Ásványi összetevők	Mágócsi uradalom	Gyula-Varsánd		Csaba-Csüd		Lele-pusztá		Remete**	Remete
		Feltalaj	Altalaj	Feltalaj	Altalaj	Repceföld	Szántó	Búzaföld	terméketlen
	Homoktalaj* "Szurkosföld"	Agyagtalaj		Humuszos vályog		Iszapos vályog		Televény	
Káli	0.005	0.329	-	0.422	0.262	0.281	0.277	0.296	
Nátron	0.058	0.826	-	1.728	1.304	0.833	0.593	0.740	0.153
Mész (mészföld)	1.634	0.381	0.195	4.462	3.242	0.593	2.909	0.216	0.378
Magnezia	0.734	0.182	0.026	1.954	0.333	0.199	0.181	0.023	0.024
Timföld	4.685	2.231	11.437	4.390	6.144	8.722	12.284	5.519	9.930
Vasoxyd (vaséleg)	4.510	4.331	3.827	4.113	5.644	7.973	4.408	3.183	3.610
Mangán	-	0.711	0.719	-	-	0.671	0.860	0.742	0.773
Kénsav	0.672	0.546	nyom	0.616	0.588	0.390	0.408	0.834	0.030
Chlor	0.010	-	nyom	nyom	-	-	-	0.003	nyom
Vilsav (P2O5)	0.004	1.131	-	1.527	0.166	8.833	8.131	5.197	nyom
Szénsav	0.846	nincs	-	4.102	3.864	3.606	2.288		
Kovasav (hydrat)	-	0.850	0.852	0.284	0.771	0.928	0.744	0.764	0.878
" (szilikát)	2.954	4.244	2.504	3.717	3.873	3.243	3.153	4.696	2.426
Homok	72.508	68.033	69.262	56.398	61.436	50.518	50.314	55.777	62.384
Korhany (televény)	4.805	6.618	-	6.588	5.818	4.040	4.586	7.501	12.818
Szerves anyagok	5.686	6.582	-	9.691	6.541	5.360	8.814	14.499	5.582
Tűzilló rész össz.	10.491	13.200	11.200	16.279	12.359	9.400	13.400	22.000	19.400
Összeg	99.111	99.995	100.024	99.992	99.986	99.993	99.999	100.000	99.986

* Hivatkozás hiányzik, a többi elemzést Molnár János végezte (In: Sporzon 1865) ** Uj-Körös mellett

A talajerő meghatározására elsősorban az összehasonlító trágyázási kísérleteket ajánlja. Így pl. a korabeli német irodalom (Stöckhardt) alapján kísérleti trágyaként javasolja:

- a hamanyéleg (K_2O) hiányának kipuhatolására - hamuzsirt,
- a hamanyéleg, kovasav és vilsav (P_2O_5) tesztelésére - fahamut,
- a légeny (N) és vilsav hatásának megismerésére - guanót,
- a mészföld hatásának megismerésére - oltott meszet,
- a kénsavra és mészre - gipszet,
- a halvány (Cl) és szikenyéleg (Na_2O) tesztelésére - konyhasót.

A mai megítélés szerint első igazán tudományos igényű talajtermékenységi kutatások a Cserháti-iskola munkásságához kötődnek, amint erre utaltunk. A múlt század végén uralkodó nézetük szerint (Cserháti és Kosutány 1887, Cserháti 1900) tehát a talajok tápanyagállapotáról kizárólag szabadföldi kísérletekkel tájékozódhatunk, mert a talajelemzés nem képes a felvehető tápelemeket előrejelezni. Valóban nem állott rendelkezésre még a megfelelő módszer és hiányoztak a talajvizsgálatokat az agronómiával összekötő vizsgálatok. Ezt az űrt ismerte fel a Cserháti-iskola zseniális fiatal képviselője 'Sigmond (1873-1939), aki a hazai talajvizsgálati kutatásokat a világ élvonalába emelte a század elejére. Munkásságának megértését segítheti életpályájának rövid ismertetése.

5.14 'Sigmond munkássága és a hazai talajvizsgálatok fejlődése

'Sigmond Elek 1895-ben szerez vegyészmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki Egyetemen, majd 1898-ban doktori fokozatot a Kolozsvári Egyetemen. Európai színvonalú tudós volt. Egyaránt írt, beszélt angolul, németül és franciául. Munkásságát több, jól elkülönülő korszakra lehet felosztani.

Az 1899-1905. közötti éveket Magyaróváron a Növénytermelési Állomáson tölti Cserháti Sándor mellett. Cserháti felkérésére az agrikultúrkémiai osztályt vezeti. Kora szakirodalmát szintetizálva és a hazai kísérletek eredményeit feldolgozva 1904-ben megjelenteti a "Mezőgazdasági Chemia" című könyvét, mely a hazai agrokémiai, növénytaplálási kutatás és oktatás nemzetközi színvonalát jelzi. 1906-ban megbízást kap a Budapesti Műszaki Egyetem Mezőgazdasági és Élelmiszerkémiai Tanszék megszervezésére. Tapasztalatszerzés céljából 2 évre külföldre utazik. Bejárja Nyugat-Európa és az Egyesült Államok kutató és oktató intézményeit. Visszatérve első professzora és vezetője lett a tanszéknek. Ő kezdeményezte számos, az élelmiszerkémiai oktatást megalapozó tantárgy bevezetését. Megírta alapvető jegyzeteit és az "Élelmiszerkémia" című művét, mely évtizedekig kézikönyvként szolgált.

1910-től haláláig részt vett a Nemzetközi Talajtani Társaság munkájában, és alapításában is tevékenyen közreműködött. Elnöke volt a Talajkémiai Bizottságnak, valamint a Szikes Albizottságnak. 1934-ben jelent meg az "Általános talajtan" c. könyve. A magyar talajtan igazán ezzel válik önálló tudománnyá és modern természettudománnyá. Könyve 1938-ban "The Principles of Soil Science" címmel Londonban is megjelenik.

1926-ban elvállalja az Országos Kémiai Intézet vezetését, talajvizsgáló laboratóriumokat létesít. 1932-37. között munkatársaival szabadföldi műtrágyázási kísérletek beállítását kezdeményezi több száz helyen az országban abból a célból, hogy a műtrágyázást és a talajjavítást tudományos alapokra helyezze. A szabadföldi kísérletek célja nem közvetlenül a trágyaigény becslése, hanem a talajvizsgálatok értelmezése, kalibrálása. 'Sigmond az agrokémia, az élelmiszerkémia és a talajtan területén hozott létre a szó igazi értelmében iskolát. A talajvizsgálatokkal kapcsolatos nézeteket, valamint a nemzetközi és saját kutatásainak eredményeit 'Sigmond (1906) átfogó monográfiában foglalja össze. A bevezetőben hangsúlyozza az alábbiakat:

1. A könnyen felvehető foszfor mennyiségét eddig csak hosszadalmas és költséges növénykísérletekkel állapíthatták meg, mert az ajánlott kémiai módszerek legfeljebb egy szűk körben bizonyultak alkalmazhatónak.
2. Bebizonyította, hogy a talaj P-trágya szükséglete szorosan összefügg a talaj felvehető P-tartalmával, melynek mennyiségét gyorsan és pontosan meghatározhatjuk az általa ajánlott eljárással.
3. Hasonló részletes tanulmány e tárgyban külföldön sem ismert. Szakkörök mind itthon, mind külföldön a kémiai talajvizsgálatok gyakorlati értékét "csaknem semmire sem méltatják". Saját véleménye azonban ellenkezik az általános felfogással (mint láttuk főnöke, Cserhádi véleményével is) és hiszi, hogy a talajok kémiai vizsgálata fogja rövidesen megoldani a növénykísérletek nehézségeit.

Végül köszönetét fejezi ki munkatársainak, illetve Cserhátinak, a kutatási feltételek biztosításáért, aki "...szigorú, de mindig jóindulatú és őszinte bírálatával megóvott attól, hogy bizonytalan mesgyékre tévedjek." Kísérjük végig 'Sigmond gondolatmenetét, hogyan jut el az eredményeihez, milyen alapelveket szögez le, milyen módszerrel dolgozik? Munkája példa értékű és számunkra rendkívül tanulságos. A tanulságokat igyekszünk pontokba foglalni és rendszerezni.

1. A könnyen felvehető P fogalma kapcsán Dyer (1894) munkáira utal, melyek szerint a növények gyökereinek szabadsav tartalma különböző. Az átlagos savanyúságot az 1 % citromsav közelítette meg legjobban, így ezt ajánlották felvehetőnek. Dyer meghatározása sem tökéletes, mert ő nem a gyökérváladékot, hanem a gyökérnedvet vizsgálta, ami nem ugyanaz - állapítja meg 'Sigmond. Gyakorlati szempontból felvehetőnek azt a foszfort kell tekinteni, melyet még a gyenge oldóképességgel bíró növények is könnyen felvehetnek. "Nézetem szerint leghelyesebb könnyen átszajátíthatónak nevezni azt a foszforsavat, mely bizonyos meghatározott hígítású savban gyorsan oldódik és a gazdasági növények táplálkozásával szoros kapcsolatban látszik lenni. E meghatározás előnye, hogy kémiai úton mindig könnyen meghatározható és a növények táplálkozásával tapasztalati alapon szorosan összefügg."
2. A felvehető P döntő jelentőségű különösen a fiatal növények táplálkozásában, mert ebben a korban a növények gyökérzete gyenge és a "szívófelület kicsiny." Általában is megállapítja, hogy mivel
- a növény gyökerei a talajnak csekély részét képesek behálózni,

- a talajoldat P tartalma elenyésző a növény igényéhez képest, ezért "a talajban sokkal több könnyen átszajátítható phosphorsavra van szükség, mint a mennyit a növények igényei megkívánnak." Mennyi az a sokkal több?
- 3. A talajvizsgálatok során határértékeket kell megállapítani. Ez csak növénykísérletekben történhet. Wagner 1900-ban tett állításait cáfolva hangsúlyozza, hogy az edénykísérletek is alkalmasak a talaj trágyaigényének megítélésére, és nemcsak szélsőséges szituációkban. Az 1881 óta folyó edénykísérletek a Növénytermelési Kísérleti Állomáson igazolják ezt, ahol a P hatásokat összehasonlító szántóföldi kísérletekben is tesztelték. (Az edények 9-30 kg talajtömeget fogadtak be.)
- 4. Szántóföldön a termelési tényezőket sohasem egyenlítjük ki annyira, mint a tenyészedeny kísérletekben. Utóbbiak végrehajtása biztosabb, jobban kézben tartható és olcsóbb. A növénykísérletek azonban csak a trágya hatását bizonyíthatják, de nem adnak számot a tápanyagok felvehető mennyiségéről. Eredményeik gyakran ellentmondóak, megfejtethetetlenek és nehezen reprodukálhatók. A kémiai analízis viszont mindig ugyanarra az eredményre vezet, értéke állandó és általánosan érvényes lehet.
- 5. Udal Sprengel 1837-ben írott talajismeretére, aki szerint csak az a tápanyag felvehető a növénynek, amely vízzoldható. Ezt a fejlődés cáfolta. A talajoldat P tartalma oly kevés, hogy a legutóbbi időkig semmi gyakorlati jelentőséget nem tulajdonítottak neki. Az 1900-as évek elejére azonban a francia Schlösing Fils tisztázta, hogy bár a talajoldat P-tartalma néhány vagy néhány tized ppm:
 - a talaj szilárd fázisával egyensúlyban van,
 - a növények ilyen hígítású oldathól kitűnően táplálkoznak,
 - folyamatos kioldással a termés P igénye biztosítható,
 - a megelőző trágyázás hatását tükrözi (rothamstedi talajok elemzése).
- 6. Az akkori külföldi kísérletes adatok alapján megállapítja, hogy a talajvízben oldható P elsősorban a lág- és tőzegtalajok minősítésére lehet alkalmas. Ismert trágyareakciójú hazai talajokon viszont nem talált összefüggést a vízzoldható P és a növénykísérletek eredményei között. Hasonlóképpen nem talált szoros összefüggést a Dyer által ajánlott 1 %-os citromsavban oldható P és a P-hatások között. Míg Dyer a rothamstedi kísérletek alapján 10 ppm P_2O_5 koncentrációt jelölt meg határértéknek, 'Sigmond 37 ppm értéknél is jelentős P-hatásokat kapott.
- 7. Ezek után arra a következtetésre jut, hogy először a talaj P formáinak oldhatósági viszonyait kell tanulmányozni a növénytől függetlenül. Majd megállapítani a kapcsolatot a P-formák és a talaj trágyaszükséglete között és nagyszámú növénykísérlettel általánosítani a tapasztalatot.
- 8. Laborvizsgálatok kapcsán elemzi a tiszta P vegyületek (apatit, Ca, Mg, Fe, Al stb. foszfátok) oldódását híg salétromsavban, 1 %-os ecetsavban. Kísérleti talajokat is vizsgálva arra a megállapításra jut, hogy meszes talajokban főként a Ca és Mg, míg a savanyúakban a Fe és Al köti meg a foszfátokat. A híg salétromsav alkalmas arra, hogy a talajfoszfátokat könnyen oldható és nehezen oldhatókra osszuk. Növénykísérletek tanulsága szerint 750-800 ppm híg salétromsav oldható P_2O_5 tekinthető határértéknek (alatta P-hatás várható, felette nem).

9. Mivel a növény gyökerével keresi meg és oldja fel a foszfort, a felvehetőség nemcsak a talaj-P oldhatóságától, hanem annak fizikai eloszlásától is függ. A szuperfoszfát hatékonyságának a titka nem önmagában a vízdoldhatóság (a talajban ez gyorsan megszűnik), hanem a talaj nedvességében való gyors és egyenletes eloszlás és a talaj kolloidjain való kicsapódás. Ez magyarázza a nyersfoszfátok őrlési finomsága és hatékonysága közötti összefüggést is.
10. Bizonyítja vizsgálataival, hogy a talaj P készletének döntő része általában az agyagfrakcióban található. Bevezeti a P fizikai eloszlása hányadosát, mely a talaj összes P és az agyagfrakció összes P hányadosát jelenti. Az átszajátíthatósági hányadossal az összes P és a felvehető P %-os arányát jelölte hozzáfűzve, hogy ennek a viszonyzámnak semmiféle növény táplálkozási jelentőséget nem tulajdonít. Az általa vizsgált talajokon az eloszlási hányados "sok esetben feltűnően megegyezik az átszajátíthatósági hányadossal", bizonyítva, hogy a foszfátok fizikai eloszlása azok oldhatóságával közelebbről összefügg, bár nem azonos jelenségről van szó.
11. A minden talajon kielégítő ellátottságot jelző 750-800 ppm P_2O_5 határérték alatti tartományt finomította a talajok lúgossági foka szerint, a növénykísérletek eredményei alapján. A határértékek 55-700 ppm között változtak. Minél lúgosabb a talaj, annál magasabb a határkoncentráció. Az eddigi módszerek csak a P oldhatóságát vették figyelembe, a talaj egyik fontos tulajdonságát, a lúgosságot nem. A sikertelenség egyik oka talán ebben keresendő - állapítja meg 'Sigmond.
12. Az ország legkülönbözőbb vidékeit reprezentáló, összesen 94 talajjal végzett kísérlet (részben edény, részben szabadföldi) alapján állapítja meg az összefüggéseket. "Tudomásom szerint eddig sem a kémiai elemzés eredményeit, sem az edénykísérleteket a szántóföldi kísérletekével ilyen arányban és alapon össze nem hasonlították" - jegyzi meg a szerző. A P hatások előrejelzésének korábbi nehézségei, a sikertelenség okai erre is visszavezethetők.
13. Mezőgazdaságunk kulcskérdése a foszfor, mert a hagyományos gabonagazdálkodás során talajaink főként P-ban szegényedtek el. A Növénytermelési Állomás 1894-ben, majd 1896-ban nagyszabású műtrágyázási kísérleteket kezdeményezett az országban abból a célból, hogy
 - a gazdákat meggyőzze a szuperfoszfát hasznáról és
 - képet nyerjen az ország talajairól, a P-hatások gyakoriságáról.
14. A talaj termékenysége és a tápanyagösszetétele, ill. felvehető P-tartalma között csak akkor lehet összefüggés, ha az utóbbi minimumban van. A termékenység ugyanis számos tényező függvénye, mint pl. a talaj fizikai, egyéb kémiai, biológiai sajátosságai stb.

A talajvizsgálatok egész életpályáján foglalkoztatják ('Sigmond 1901, 1906, 1910, 1934). Hangsúlyozza azonban, hogy azok nem helyettesíthetik az egzakt szabadföldi kísérleteket és mindkét eszközre szükség van a kutatásban és a műtrágyázás irányításában. Az összefüggés-vizsgálatok során "...a kutatók vegyék figyelembe a talajtípusok eltérő dinamikáját és ehhez alkalmazkodva állapítsák meg a határértékeket és értékeljék az elemzési adatokat." A rendelkezésre álló vizsgálati anyag még nem tette lehetővé a határértékek

finomítását további talajtulajdonságok szerint. Ezt a munkát tanítványai folytatták.

5.15 Talajvizsgálatok 'Sigmond után

A 'Sigmond tanítványok közül elsősorban id. Várallyay (1950, 1954) és Dworák (1930, 1934) munkásságát emeljük ki, akik a talajvizsgálati adatok és a műtrágyahatások közötti összefüggések tisztázásán igen eredményesen dolgoztak. A talajvizsgálatok iránt fokozatosan nőtt az érdeklődés és az 1920-as évektől kezdődően egyre több helyen végeztek analíziseket a trágyaszükséglet megállapítására.

A kép nem lenne teljes, ha nem említeném 'Sigmond jelentős kortársait is, akik közül Floderer (1910) a talajerő meghatározását célzó eljárásokat tanulmányozza, Ballenegger (1914) főbb talajtípusaink tápanyagkészletét elemzi és szerkesztésében jelenik meg a Talajvizsgálati Módszerkönyv (1944). Csiky (1930), Di Gléria (1930) Kreybig (1931), Zucker (1931), Doby (1936), Finály (1941) stb. több munkájukban foglalkoznak a talajvizsgálatok elvi és gyakorlati problémáival.

Az 1930-as évek elején indult az első olyan országos műtrágyázási kísérleti akció, melyet a talajvizsgálatokkal is tervszerűen összekapcsoltak. A műtrágyahatások és a talajvizsgálati adatok közötti összefüggések tanulmányozása azonban pozitív eredménnyel nem járt, állapította meg később Várallyay. Számos tanulással szolgált ugyanakkor a résztvevők számára. Hozzátehetjük, hogy az utókor számára is. Az eredménytelenség okainak elemzése lehetővé tette a továbblépést, az elvi és módszertani tisztázatlanságok felszámolását. Foglalkozunk össze ezeket a tapasztalatokat a talajvizsgálatok terén.

A két világháború között hazánkban Európa számos országához hasonlóan a talajok tápelem ellátottságának megítélésére elterjedten alkalmazták a Neubauer és Schneider (1923) által ajánlott rozs csíranövényes eljárást. A módszer talajtól függetlenül egy általános ellátottsági határértéket adott meg, mely alatt trágya-hatás várható, míg felette nem. Ezt az egysíkú összefüggést az 1932-36. évek szabadföldi kísérletei nem igazolták.

A vizsgálatok során több, akkor használatos kémiai és biológia módszert is (Lemmermann, 'Sigmond, Azotobacter, Aspergillus stb.) összehasonlítottak a standardként elfogadott növényfiziológiai Neubauer teszttel. "...Azt néztük, hogy az egyes módszerek hogyan egyeznek egymással és a fő cél, a talajvizsgálat - műtrágyahatás összefüggése elveszett a szem elől." Amint korábban a 4.1 fejezetben utaltunk rá, a kísérleti technika is rossz volt. Várallyay (1954) arra a következtetésre jut, hogy a sok ismétlés nélküli vizsgálat helyett egy egyszerű és gyors kémiai eljárásra van szükség. Bármelyik módszer jó lehet ugyanis, csak kalibrálni kell. A további vizsgálatok céljaira később a gyors, szériavizsgálatra alkalmas DL-módszert (Riehm 1942) választották. Emellett laboratóriumban, mikroadagú trágyázással és 18 napos érleléssel összekötött vizsgálatokat is végeztek a mintákon abból a célból, hogy a talaj DL-P tartalmának meghatározásán túl a %-os változásra is információt nyerjenek trágyázás hatására (feltöltéslökötődés).

Amint korábban a 4.2 táblázat bemutatása kapcsán utaltunk rá, Várallyay a DL-PK határértékeket talajtípusokra és növényre finomította a már általa kezdeményezett kisparcellás ismétléses klasszikus hiánykísérletek adatai alapján. A meszes homok és a mészből gazdag mezősegi talajokon pl. az adszorpció mérsékelte, ill. a feltáródás élénkebb lehet, ezért is itt a DL-P határértékek magasabbak. A savanyú erdő, Duna öntés és a savanyú homok talajokon ugyanakkor alacsonyabbak. A DL-K határértékeket növénycsoportra finomította (4.2 táblázat).

Várallyay kísérleteire támaszkodva Keresztény (1958) statisztikai összefüggéseket is keres a műtrágyahatások és a talaj könnyen oldható PK tartalma között. Várallyay halálát követően azonban törés következik be a fejlődésben. Nem volt, aki kellőképpen megértette és továbbvitte volna ezt a munkát. Sajnálatos, mert éppen az ezt követő időszakban a lehetőségek bővültek. Újabb kutató intézmények és talajvizsgáló laboratóriumok alakultak, a műtrágyafelhasználás megsokszorozódott.

Az 50-es évek végével beállított adag-arány kísérletek célja ismét a trágyaigény közvetlen meghatározása lett, mint 60-70 évvel korábban Cserháti idejében. Mintha a világszínvonalú és világhírű 'Sigmond és tanítványainak fél évszázados munkája, tapasztalata, alapelvei megsemmisültek volna. Mintha az új kutatói generáció nem ismerte volna fel elődei munkájának jelentőségét, sem a nemzetközi vonulatokat a tudományában. Talán a Viljamsz és Liszenko féle irányzat terjedése is hozzájárult ehhez, amennyiben a talaj szerkezetének, ill. a füves vetésforgónak szerepét túlhangsúlyozta a talajtermékenység helyreállításában a műtrágyákkal szemben.

Az adag-arány kísérletekben megállapított műtrágyázási tapasztalat bizonyos fókáig mégis általánosítható volt egy ideig. Amint korábban láttuk, az évezredes egyoldalú gabonagazdálkodásunk eredményeképpen a táblák közös jellemzője volt, ha eltérő mértékben is, a nem kielégítő ellátottság a fő (NP) tápelemekben. Ez az állapot a talajgazdagító műtrágyázás beköszöntével fokozatosan megszűnt. Nehezen nyert teret azonban az a gondolat, hogy a termelés egysége a tábla és ebből adódóan a trágyahatásokat a tábla szintjén kell prognosztizálni. Erre pedig csak a talaj- és növényvizsgálatok képesek. Igaz ugyan, hogy értékes részeredmények születnek a talajvizsgáló módszerek adaptálása és finomítása terén (Sik és Fábriné 1950, Sik és Schönfeldt 1951, Sik 1964 stb.). A 60-as években Sarkadi és munkatársai (Sarkadi és Krámer 1961; Sarkadi et al. 1965, 1966; Thamné et al. 1968 stb.) számos munkájukban foglalkoztak a műtrágyaszükséglet meghatározásának elvi és módszertani problémáival. Provizórikus határértékeket is javasoltak a DL, majd az AL módszerrel kioldható PK tartalomra.

Rámutattak arra, hogy a hazánkban is korábban használatban volt DL eljárással talajaink P ellátottságát meszes talajokon jelentősen alábecsülhetjük a P másodlagos kicsapódása miatt. Ezért javasolták az AL módszerre való áttérést, ahol a Ca-laktát helyett a 3.7 pH-ra puffertolt ammóniumlaktát szerepel oldószerként. Összefüggést kerestek a talaj mészállapota és a talajvizsgáló eredmények között. Korrekciós faktorokat javasoltak a DL értékek AL értékekre való átszámításához. Így pl. az AL-P/DL-P viszonyszáma karbonátmentes talajokon 1:1.5;

a 2-10 % CaCO_3 tartalmú talajon 1:2, míg 10 % CaCO_3 felett 1:4-5 körül adódott.

A 70-es és 80-as években tovább folyt az a munka, amely megkísérelte egy-egy alapvető talajtulajdonság (mészállapot, kötöttség, humusztartalom) szerepét tisztázni a talajvizsgálati határértékek értelmezésében. A hazai egységes műtrágyázási szaktanácsadás kialakításakor, a MÉM NAK megalakulása idején (1976), a Mérőmódszertani Bizottság feladata volt összegezni az eredményeket a szaktanácsadás számára. A hazai alapozó vagy háttérkutatások tették lehetővé, hogy az akkori igényeket a szakma kielégítse és rövid idő alatt egységes szaktanácsadási alapelveket, valamint módszertant ajánljon.

A mikroelem kutatásokban Tölgyesi (1969), Keresztény (1971), Pais (1980), Elek és Kádár (1980), Győri (1984); a foszforigény becslésében Fülek (1977), Thammné (1981), Sarkadi et al. (1987); a Mg módszertan továbbfejlesztésében Loch (1970); a meszezés terén Nyíri (1968), Blaskó (1985) és Balogh (1988); a homoktalajok termékenységének vizsgálatában pl. Lásztity (1976), Cserni (1982), Szemes (1986) és mások közöltek értékes talajelemzési adatokat az elmúlt évtizedekben. A kálium, kalcium és magnézium trágyázás együttes hatását Kozák et al. (1983) vizsgálták részletesebben a nyírségi homoktalajon.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy az agrokémiai-talajtani tudomány már eddig is igen hasznos információt nyújtott talajainkról, azok termékenységét befolyásoló tényezőkről. A táblaszintű beavatkozásokhoz azonban megfelelő részletességű adatbázis korábban nem állott rendelkezésre, különösen ami a trágyaszükséglet tudományos igényű becslését illeti. A talajvizsgálatok elterjedése együtt járt a műtrágyázás fejlődésével. A talajvizsgálati eredményeket értelmezni, kalibrálni kell egzakt növénykísérletekben ahhoz, hogy élettani értelmet nyerjenek. Nem helyettesíthetik tehát, hanem általánosítják a növénykísérletekben szerzett trágyázási tapasztalatot.

A hazai kutatás és szaktanácsadás egyik legfontosabb megoldatlan kérdése véleményünk szerint, hogy az általános agronómiai haladással, a műtrágya felhasználás és a talajvizsgálatok mennyiségi növekedésével nem nőtt együtt a kalibrációs növénykísérletek száma. Ebből adódóan a trágyahatások előrejezésének megbízhatósága, a precíz talajvizsgálati határértékek kidolgozása kérdésessé válik, ill. nehézségekbe ütközik. A sok talajvizsgálati paraméter nem vagy nehezen értelmezhető és így jórészt használhatatlan a szaktanácsadási gyakorlatban.

'Sigmond (1906) szerint először Thaer kísérelte meg, hogy a talaj kémiai vizsgálatából annak termékenységére következtessen. A talajra vonatkozó ismeretek azonban még kezdetlegesnek bizonyultak. Thaer (1809) azt jósolta, hogy a talajok elemzésével majdan következtethetünk a várható termésekre, amennyiben több ismeretet szerzünk a talajok összetételéről és kísérleteket végzünk. "Thaer jóslata még eddig be nem következett, pedig azóta csaknem 100 év telt el" állapítja meg 'Sigmond. Hozzátehetjük, a Thaer által megálmodott korszak immár csaknem 200 év elteltével sem köszöntött be. Már 'Sigmond is rámutatott a talajvizsgálatok elvi korlátaira. A tápanyag a termékenységnek csak egyik eleme. A talajelemzések főként kémiai eljárásokon alapulnak, míg a növény növekedését egyéb tényezők is befolyásolják. Egyre nagyobb valószínűséggel

képes azonban a kémia a talajtápanyag vizsgálatát feltárni, hogy mely tápelem kerülhet minimumba és így egyre nagyobb valószínűséggel előrejelezni a trágyahatásokat.

Új feladatokat jelenthet az eddig kevésbé ismert vagy ismeretlen elemek, mint a környezetvédelmi szempontból fontos toxikus nehézfémek sorsának, átalakulásának vizsgálata. Már is felmerült a határkoncentrációk megállapításának igénye. Adatokat kell gyűjtenünk arra vonatkozólag pl., hogy

- milyen a hazai főbb talajtípusaink háttérterhelése, készlete;
- milyen mérvű terhelés léphet fel a szennyezőforrások közelében;
- mely nehézfémek akkumulálódnak a szántott rétegben;
- hogyan csökkenthető a talajok felvehető toxikus nehézfém-tartalma stb.

A hazai talajvizsgálatokra tehát nagy jövő vár. Fejlődés láthatóan elsősorban minőségileg lesz. Előtérbe kerülnek a csak nyomokban kimutatható elemek. Nagy precizitást és pontosságot igénylő mintavételi, analitikai eljárások terjednek. Az adatok értelmezése szükségessé teszi a 200 éves történelmi tapasztalatokra való tudatos támaszkodást, és egyre nagyobb háttérinformációt igényel, valamint rendszerezett ismereteket, tisztánlátást a módszer alapelveit és korlátait illetően. Az újabb feladatok megoldása minden bizonnyal új minőségi fejlődést eredményez majd, mely elvezethet a talajvizsgálatok alapelveinek átértékeléséhez is.

5.16 Irodalom

- BAKER, D.E. - AMACHER, M.C. (1981): The development and interpretation of a diagnosing soil-testing program. The Pennsylvania State University. Agr. Exp. Station. Bulletin 826.
- BALLENEGGER, R. (1914): Magyarországi talajtípusok tápanyagkészlete. Földtani Intézet évi jelentése 1914-ről. Budapest.
- BALOGH, I. (1988): Nyírségi savanyú homoktalajok termékenységének növelése kalcium és magnézium visszapótlással. Kandidátusi disszertáció tézise. Karcag.
- BARBER, S.A. (1966): The role of root interception, mass flow and diffusion in regulating the uptake of ions by plants from soil. Techn. Rep. Ser. Int. Atom Energy Ag. No.65. 39-45.
- Barber, S.A. (1973): The changing philosophy of soil test interpretation. In: Soil Testing and Plant Analysis. Ed. L.M. Walsh and J.D. Beaton. 201-212. SSSA, Madison. Wisc. USA.
- BERGMANN, W. (1958): III. Methoden zur Ermittlung mineralischer Bedürfnisse der Pflanzen. Handbuch der Pflanzenphysiologie IV. 37-89. Springer Verlag, Berlin.
- BERGMANN, W. (1968): Aufgaben, Zielen und Grenzen der Bodenuntersuchung sowie ein kritischer Vergleich ihrer Entwicklung in der europäischen Ländern. In: 40 Jaar Grondon der zoe. 41-98. Oosterbeek. Holland.

- BERGMANN, W. (1979):Termesztett növényeink táplálkozási zavarainak előfordulása és felismerése. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- BLASKÓ, L. (1985):Meszezés és műtrágyázás hatása a körösvidéki réti talajokra. Kandidátusi disszertáció tézisei. Karcag.
- BOCZ, E. (1985):A trágyázás (tápanyagellátás) szerepe hazánk mezőgazdaságában. DATE Kiadványa. Debrecen.
- BRAY, R.H. (1929): A field test for available phosphorus in soils. Illinois Agr. Exp. Station. Bull. 337.
- BRAY, R.H. (1944):Soil-plant relations: II. Balanced fertilizer use through soil tests for potassium and phosphorus. Soil Sci. 60:463-473.
- BROUWER, W. (1949):Steigerung der Erträge der Hülsenfrüchte durch Beregnung sowie Fragen der Bodenuntersuchung und Düngung. Z. Acker- u. Pflanzenbau. 91:319-346.
- BURD, J.S. (1918):Water extractions of soils as criteria of their crop-producing power. J. Agr. Res. 12:297-310.
- BUZÁS, Iné - KARKALIKNÉ, H.ZS. - SZABADOS, I. (1985):A műtrágyázási szaktanácsadás továbbfejlesztési lehetőségei az 1983/84. évi őszi búza termesztés adatai tükrében. A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. 367-371. NEVIKI. Keszthely.
- CSANG, S.C. - JACKSON, M.L. (1957):Fraction of soil phosphorus. Soil Sci. 84:133-144.
- CHILDS, F.D. - JENCKS, E.M. (1967):Affect of time and depth of sampling upon soil test results. Agron. J. 59:537-540.
- CLINE, M.G. (1944):Principles of soil sampling. Soil Sci. 58:275-288.
- COREY, R.B. - SCHULTE, E.E. (1973):Factors affecting the availability of nutrients to plants. In: Soil Testing and Plant Analysis. Ed: L.M.Walsh and J.D.Beaton. 23-34. SSSA. Madison. Wisconsin. USA
- CSATHÓ, P. - KÁDÁR, I. - SARKADI, J. (1989):A kukorica műtrágyázása meszes csernozjom talajon. Növénytermelés. 38:69-76.
- CSATHÓ, P. (1991):Káli-útmutató a kukoricában. Magyar Mezőgazdaság. (49.szám) 46:11.
- CSERHÁTI, S. - KOSUTÁNY, T. (1887):A trágyázás alapelvei. Országos Gazdasági Egyesület Könyvkiadó. Budapest.
- CSERHÁTI, S. (1900):Általános és különleges növénytermelés. Czéh Sándor-féle Könyvnyomda. Magyar-Óvár.
- CSERNI, I. (1982):Kukorica és rozs foszforműtrágyázása lepelhomok talajon. Kandidátusi disszertáció tézisei. Kecskemét.
- CSIKY, J. (1930):A talaj mész- és táplálóanyag szükségletének meghatározásáról Mezőg. Kut. 3:250-263.
- DAVY, H. (1814):Elemente der Agriculturchemie. In: Mitscherlich (1957): Pochvovedenie. Izd.: Inosztr. Lit. Moszkva.
- DEBRECZENI, B. (1973):A tápanyag- és vízellátás főbb összefüggéseinek agrokémiai vonatkozásai. Doktori értekezés. MTA TMB. Budapest.

- DOBY, G. (1936):Kísérletek a talaj hasznos nitrogéntartalmának physiologiai -
chemiai meghatározására. Mat. Term.tud. Ért. 54:831-837.
- DWORÁK, L. (1930):Új alapelv a talaj trágyaszükségletének meghatározására. A
relatív meghatározás jelentősége. Mezőgazd. Kut. 3:355-359.
- DWORÁK, L. (1934): Példák a talajvizsgálatok gyakorlati hasznosulására.
Mezőgazdaság. 11:135-144.
- DYER, B. (1894):On the analytical determination of probably available mineral
plant food in soil. J. Chem. Soc. 65:115-167.
- EGNÉR, H. (1938):Die Laktatmethode zur Bestimmung leichtlöslicher
Phosphorsäure in Acker-böden. Ann. Landw. Hochschule Schweden. 6:253-
298.
- EGNÉR, H. - RIEHM, H. - DOMINGO, W.R. (1960):Untersuchungen über die
chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des
Nährstoffzustandes der Böden. II. K. Lantbr. Högsk. Ann. 26:199-215.
- ELEK, É. - KÁDÁR, I. (1980):Állókultúrák és szabadföldi növények mintavételi
módszere.MÉM NAK kiadványa. Budapest.
- FEHÉR, D. - FRANK, M. - MANNINGER, G.A. (1939):Experimentelle
Untersuchungen über den Einfluss der Mikroorganismen-tätigkeit auf das
dynamische Verhalten der leichtlöslichen Phosphor-, Kali- und Stickstoff-
verbindungen des Bodens. Bodenk. Pfl.ernähr. 13:341-352.
- FERRARY, Th.J. - VERMEULEN, F.H.B. (1955):The reliability of soil analysis.
Landbouvoorlichting. 12:389-399.
- Finály, I. (Kendi) (1941):A talajvizsgálatok gyakorlati értelme. Term.tud. Közl.
73:305-308.
- FITIS, J.W. - NELSON, W.L. (1956):The determination of lime and fertilizer
requirements of soils through chemical tests. Adv. Agron. 8:241-281.
- FLODERER, S. (1910):A talajerő meghatározását célzó eljárásokról. Kísér. Közl.
13:623.
- FÜLEKY, Gy. (1973):Néhány hazai talajtípus összes foszfortartalmának
összehasonlító vizsgálata. Agrokémia és Talajtan. 22:311-318.
- FÜLEKY, Gy. (1974):A talaj könnyen oldható foszfortartalmának és szerves
foszforformáinak össze-függése. Egyetemi doktori értekezés. Gödöllő.
- FÜLEKY, Gy. - KÁDÁR, I. (1975):A talaj P-állapotának változása
tartamkísérletben. I. Agrokémia és Talajtan. 24:291-302.
- FÜLEKY, Gy. (1976):A talaj könnyen oldható P-tartalmának meghatározására
használt kivonószerek vizsgálata. Agrokémia és Talajtan. 25:271-296.
- FÜLEKY, Gy. (1977):A talaj P állapotát és könnyen oldható P-tartalmát
befolyásoló fontosabb tényezők. Kandidátusi disszertáció tézisei. Budapest.
- di GLÉRIA, J. (1930):A talajok tápanyagtartalmának meghatározása
elektrodialízissel.Mezőg. Kut. 3:185-198.
- GRANT, W.T. - Hanway, J. (1968):Determining Fertilizer Needs. In: Changing
Patterns in Fertilizer Use. 119-140. SSSA. Madison, Wisconsin. USA.
- GYÓRI, D. (1984):A talaj termékenysége. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- HAUSER, G.F. (1973):Guide to the calibration of soil tests for fertilizer
recommendations. FAO Soils Bulletin. 18. FAO. Rome.

- Illinois Agronomy Handbook 1985-1986. (1987):University of Illinois. Urbana-Champaign. Circular 1233. Urbana.
- JACKSON, M.L. (1958):Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall. Inc. Englewood Cliffs. New York.
- KÁDÁR, I. - LÁSZTITY, B. (1979):A feltöltő foszfor és kálium műtrágyázás lehetőségének vizsgálata néhány magyarországi talajon. *Agrokémia és Talajtan*. 28:123-142.
- KÁDÁR, I. (1982):Földművelésünk műtrágyaigényét befolyásoló néhány tényező. *Növénytermelés*. 31:269-280.
- KÁDÁR, I. - ELEK, É. - FEKETE, A. (1983):Összefüggésvizsgálatok néhány talajtulajdonság, a műtrágyázás, valamint a termesztett növények jellemzői között. *Agrokémia és Talajtan*. 32:57-76.
- KÁDÁR, I. - CSATHÓ, P. - SARKADI, J. (1984):A szuperfoszfát tartamhatásának vizsgálata őszi búza monokultúrában. I. Talajvizsgálati és szemtermés eredmények. *Agrokémia és Talajtan*. 33:375-390.
- KÁDÁR, I. (1986a): A tápanyagvizsgálatokat célzó talajmintavétel problémái hazánkban. *Agrokémia és Talajtan*. 35:405-414.
- KÁDÁR, I. (1986b):Talajvizsgálatok felhasználása az agrokémiai szaktanácsadásban és kutatásban. *Agrokémia és Talajtan*. 35:415-430.
- KÁDÁR, I. (1988):A műtrágyázási szaktanácsadás új irányelveiről. *Ankét*. 297-302. NEVIKI. Keszthely.
- KÁDÁR, I. (1989):Kritikusan a műtrágyázásról. *Magyar Tudomány*. 7-8:613-616.
- KÁDÁR, I. (1990):Some lessons learned from the NPK balances and field experiments in Hungary. In: *Proceedings of "Swedish-Hungarian Seminar on Environmental Problems in Agriculture"*. 41-43. Kungl. Skogs-Och Lantbruksakademien. Rapport Nr. 51. Stockholm.
- KÁDÁR, I. - CSATHÓ, P. - SARKADI, J. (1991): Potassium fertilization in Hungary: responses in maize and in other crops. *Acta Agron. Hung.* 40: 295-317.
- KERESZTÉNY, B. (1953):A talaj foszfortartalmának változásai anaerob körülmények között. *Agrokémia és Talajtan*. 2:185-190.
- KERESZTÉNY, B. (1958):A műtrágyahatás és a talaj könnyen oldható táplálóanyag tartalma, illetve termő-képessége közötti összefüggés. *Agrokémia és Talajtan*. 7:127-140.
- KERESZTÉNY, B. (1971):Talajtulajdonságok és mikroelemtartalom összefüggései kiserőművi talajokban. Kandidátusi disszertáció tézisei. Mosonmagyaróvár.
- KOMPANEEC, M. (1976):Ucsonüie agronomü Rosszii. II. Kolosz. Moszkva.
- KOZÁK, M. - SZEMES, I. - VÖLGYESI, A. (1983):A kálium, kalcium és magnézium trágyázás hatása a talajtulajdonságokra, a burgonya terméseredményeire nyírlugosi tartamkísérletekben. In: *Tanulmányok a homokhasznosításról*. Westsik Vilmos emlékülés. 160-180. Nyíregyháza.
- KÖTTGEN, P. (1937):Die Bestimmung der leichtlöslichen und der sorptiv gebundenen Ionen nach der Methode des Giessener Bodenkundlichen Instituts. *Bodenkunde u. Pflanzen-ernähr.* 3:56-89.
- KRÁMER, M. (1979):A folyamatos talajmintavétel feltételei és hazai lehetőségei szántóföldi kultúrák esetén. Témadokumentáció. MÉM Inform. Közp. Budapest.

- KREYBIG, L. (1931): A trágyaszerek jövedelmező érvényesülésének feltételei. Pátria. Budapest.
- LÁSZTITY, B. (1976): A kukorica nitrogén és kálium műtrágyázásának vizsgálata karbonátos Duna-Tisza közti homoktalajon. Kandidátusi disszertáció tézisei. Budapest.
- LEMMERMANN, O. (1930): Über die heutigen Laboratoriums-Methoden zur Bestimmung des Düngungsbedürfnisses der Böden. Pflanzenernähr. Düng. u. Bodenkunde. 9:1-17.
- LIEBIG, J. von (1840): Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. 9. Auflage Vieweg und Sohn. Braunschweig. 1876.
- LOCH, J. (1970): Összefüggések a talaj Mg-tartalma és a növények által felvett magnézium között. Kandidátusi disszertáció tézisei. Debrecen.
- MACSIGIN, B.P. (1952): Metodü agrohimičeszkih, agrofizičeszkih is mikrobiologičeszkih isszledovanij v polivnüh hlopkovüh rajonah. Taskent. Izd. AN UzSSzR.
- MAERCKER, M. (1891): Mitteilungen über die Beziehungen zwischen dem Phosphorgehalt des Bodens und seiner Bedürftigkeit für Phosphorsäuredüngung. Z. Landw. Zentr. Ver. Prov. Sachsen. 48:111.132.
- MELSTED, S.W. - PECK, T.R. (1973): The Principles of Soil Testing. In: Soil Testing and Plant Analysis. Ed.: L.M. Walsch and J.D. Beaton. 13-22. SSSA. Madison. Wisconsin. USA.
- MENGEL, K. (1976): A növények táplálkozása és anyagcseréje. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- MITSCHERLICH, E.A. (1930): Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens. 3. Aufl. P. Parey Verlag. Berlin.
- NEUBAUER, H. - SCHNEIDER, W. (1923): Die Nährstoffaufnahme der Keimpflanzen und ihre Anwendung auf die Bestimmung des Nährstoffgehaltes der Böden. Z. Pflanzenernähr. Düng., Bodenkunde A 2:329-362.
- NÉMETH, K. (1972): Bodenuntersuchung mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF) mit mehrfach variierten Spannung. Landw. Forsch. Sonderh. 27/II. 184-196.
- NÉMETH, T. - KÁDÁR, I. (1991): Macro- and micronutrients in Hungarian soils. In: Proc. IGBP Symp. "Cycling of nutritive element in geo- and biosphere." 19-52. Szerk.: I. Pais) Budapest.
- NYÍRI, L. (1986): A talajjavítás, talajművelés komplex hatása barna erdőtalajokra. Kandidátusi disszertáció tézise. Mosonmagyaróvár.
- OLSEN, S.R. - COLE, C.V. - WATABABE, F.S. - DEAN, L.A. (1954): Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. N. 939.
- OPITZ, K. (1907): Vergleichende Untersuchungen über die Ergebnisse von chemischen Bodenanalysen und Vegetationsversuchen. Landw. Jb. 36:909-992.
- PAAUW, Van Der, F. (1971): An effective water extraction method for the determination of plant available soil phosphorus. Plant and Soil. 34:467-481.

- PAIS, I. (1980): A mikrotápanyagok szerepe a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- PECK, T.R. - MELSTED, S.W. (1973): Field sampling for soil testing. In: Soil testing and plant analysis. (Eds.: Walsh, L.M. and Beaton, J.D.) 67-75. SSSA. Madison. Wisconsin. USA.
- PEKÁRY, K. - HOLLÓ, S. (1979): A feltöltő PK trágyázás hatása a talajra és a termésre csernozjom barna erdőtalajon. Növénytermelés. 28:163-174.
- PETERSON, R.G. - CALVIN, L.D. (1965): Sampling. In: Methods of Soil Analysis. Part 1. 54-72. (Ed.: Black, C.A.) ASA Publ. No. 9. Ser. Agronomy. Madison. Wisconsin.
- PILZ, F. (1908): In welchem Verhältnis steht der durch eine Phosphorsäuredüngung erzielte Mehrertrag von Gerste zu dem Phosphorsäuregehalt des Bodens? Z. Landw. Versuchsw. Österreich. 11:36-48. Wien.
- REED, J.F. et al. (1953): Sampling soils for chemical tests. Better Crops. Pland Food. 37:13-18.
- RIEHM, H. (1942): Bestimmung der laktatlöslichen Phosphorsäure in karbonathaltigen Böden. Phosphorsäure. 1:167-176.
- RIEHM, H. (1958): Die ammoniumlaktatessigsäure Methode zur Bestimmung der leichtlöslichen Phosphorsäure in karbonathaltigen Böden. Agrochimica. 3:49-65.
- RUZSÁNYI, L. (1975): A növények evapotranszpirációjának vizsgálata különböző tápanyagellátási szinten. Kandidátusi disszertáció. MTA TMB. Budapest.
- SARKADI, J. - KRÁMER, M. (1961): Növényi anyagok és szerves trágyák tápanyagtartalmának vizsgálata. I. Agrokémia és Talajtan. 10:85-94.
- SARKADI, J. - KRÁMER, M. - THAMM, Fné (1965): Kalcium- és ammóniumlaktátos talajkivonatok P-tartalmának meghatározása aszkorbinsav-ónkloridos módszerrel melegítés nélkül. Agrokémia és Talajtan. 14:75-86.
- SARKADI, J. - KRÁMER, M. - THAMM, Fné (1966): Bestimmung des Phosphatgehaltes in Kalziumlaktat- und Ammoniumlaktat-Extrakten von Böden. Albrecht Thaer Arch. 10:991-1002.
- SARKADI, J. - KÁDÁR, I. (1974): The interaction between phosphorus fertilizer residues and fresh phosphate dressings in a chernozem soil. Agrokémia és Talajtan. Suppl. 23:92-100.
- SARKADI, J. (1975): A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- SARKADI, J. (1986): Az AL-oldható foszfor és kálium meghatározásának pontossága, ill. megbízhatósága. Agrokémia és Talajtan. 35:249-254.
- Sarkadi, J. - Thamm, Fné - Pusztai, A. (1987): A talaj P-ellátottságának megítélése a korrigált AL-P segítségével. Melioráció - Öntözés - Tápanyaggazdálkodás. Agroinform. Bp. 2. sz. 66-72.
- SARKADI, J. - NÉMETH, T. - KÁDÁR, I. (1986): A talaj könnyen oldható tápanyagtartalmának heterogenitása. Agrokémia és Talajtan. 35:295-306.

- SCHAFFER, G. (1955): Atmungskurven des Bodens in ihrer Beziehung zu seinen Wasser, Phosphorsäure- und Kaligehalt während mehrerer Vegetationsperioden von verschiedenen Witterungscharakter. Landw. Forsch. 7:12-16.
- SCHILLING, G. - BEER, K.H. (1967): Untersuchungen über die Charakterisierung des pflanzenverfügbaren Mangans in verschiedenen Böden und seine Dynamik. Albrecht Thaer Arch. 11:263-279.
- SCHÜLLER, H. (1969): Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. Z. Pfl. Ernähr. Bodenk. 123:46-63.
- 'SIGMOND, E. (1901): Adatok a talaj asszimilálható foszforsavtartalmának meghatározásához. Magyar Chem. Folyóirat. 7:3-16.
- 'SIGMOND, E. (1904): Mezőgazdasági Chemia. Term. Tud. Társulat. Budapest.
- 'SIGMOND, E. (1906): A könnyen átsajátítható phosphorsav jelentősége és meghatározása talajaink trágyaszükségletének megállapítása céljából. Math. és Természettud. Közlem. XXIX. 1.sz. 1-192.
- 'SIGMOND, E. (1910): A mezőgazdasági növények legfontosabb táplálóanyagai. Term. Tud. Közl. 41:1-36.
- 'SIGMOND, E. (1934): Általános Talajtan. Korda Nyomda. Budapest.
- 'SIGMOND, E. (1938a): Újra meg kell szerveznünk a gyakorlati talajvizsgálatokat. Közt. 48:1010.
- 'SIGMOND, E. (1938b): The principles of soil science. (Translated from the Hungarian by Arthur B. Yolland). Thomas Murby and Co. London.
- SÍK, K. - FÁBRI, Gyné (1950): Gyors eljárás a talajok oldható P-tartalmának megítélésére. Agrokémia. 2:148-156.
- SÍK, K. - SCHÖNFELD, S. (1951): A talajsajátságok időszakos változásairól. Agrokémia és Talajtan. 1:269-290.
- SÍK, K. (1964): A foszforsav és kálium meghatározása szakaszos kioldással borátos talaj-kivonatból. OMMI Évkönyv. 6:167-176.
- SIMPSON, J.R. - WILLIAMS, C.H. (1970): The effect of fluctuations in soil moisture content on the availability of recently applied phosphate. Aust. J. Soil Res. 8:209-219.
- SMITH, A.M. (1959): Soil analysis and fertilizer recommendation. Proc. No. 57. Fertilizer Society. London.
- SPORZON, P. (1865): Gazdászati talajisme, vagyis a termőföld eredete, minősége, ereje, nevei s osztályai. Kiadja Nagel és ÁWischán. Buda.
- SPRENGEL, C. (1845): Die Lehre vom Dünger. 2. Aufl. P-Parey Verlag. Leipzig.
- SPURWAY, C.H. (1932): Soil Testing. A practical system of soil diagnosis. Michigan Agr. Exp. Station. Bulletin 132.
- SZABÓ, J. (1961): Békés- és Csanádmegye. Geológiai viszonyok és talajnevek ismertetése, egy színezett földtani térképpel. Magyar Gazdasági Egyesület. Pest.
- SZABOLCS, I. (1968): A korszerű talajvizsgálatok szerepe a műtrágyázásban. Tud. és Mezőgazd. 6. /5/ 1-8. 1968.
- SZALÓKI, S. (1988): Az öntözéses növénytermesztés alapjai. 33-71. In: Az öntözéses gazdálkodás újabb kutatási eredményei. ÖKI. Szarvas.

- SZEMES, I. (1986):Műtrágyahatások elemzése meszes homoktalajon.Kandidátusi disszertáció tézisei. Budapest.
- THAER, A. (1809):Grundsätze der rationellen Landwirtschaft. Realschulbuchhandlung. Berlin.
- THAMM, Fné - KRÁMER, M. - SARKADI, J. (1968):Növények és trágyaanyagok foszfortartalmának meghatározása ammónium-molibdovanadátos módszerrel. Agrokémia és Talajtan. 17:145-156.
- THAMM, Fné (1981):Az AL-módszer alkalmazásának lehetőségei talajaink P-szolgáltatásának becslé-sére. Kandidátusi disszertáció tézisei. Budapest.
- TÖLGYESI, Gy. (1969):A növények mikroelem tartalma és ennek mezőgazdasági vonatkozásai. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- TROUG, E. (1930):The determination of the readily available phosphorus in soils. Amer. Soc. Agron. 22:874-882.
- VAZSENYIN, J.G. (1963):Primenenie metoda variacionnoj sztatistikai v pocsvvenno-agrohimicseszkiih issledovanijah. Pocsvovedenie. (2) 43-52.
- VÁRALLYAY, Gy. (1950):A műtrágyázást irányító kísérletek és vizsgálatok. Agrokémia. 2:287-302.
- VÁRALLYAY, Gy. (1954):Az egyszerű talajvizsgálatoktól az üzemi talajtérképezésig.Agrokémia és Talajtan. 3:289-298.
- VERMEULEN, F.H.B. (1960):Fehlerquellen bei der Bodenuntersuchung. Landw. Forsch. Sonderheft 14:80-83.
- WAHNSCHAFTE, F. (1903):Wissenschaftliche Bodenuntersuchung. Zweite Auflage. Paul Parey. Berlin.
- WELCH, C.D. - WIESE, R.A. (1973):Opportunities to Improve Soil Testing Programs. In: Soil Testing and Plant Analysis. Ed: L.M. Walsch and J.D. Beaton. 1-12. SSSA Madison. Wisc. USA.
- WRANGEL, M. von (1926): Über Bodenphosphate und Phosphorsäurebedürftigkeit. Landw. Jb. 63:627-642.
- ZUCKER, F. (1931):Műtrágyázási kísérlet Felsődunántúlon. Közt. 41:1063.

6. A NÖVÉNYANALÍZIS ALAPELVEI ÉS MÓDSZERE

*"Ahhoz, hogy a növény igényét megismerjük,
magát a növényt kell megkérdeznünk."*

PRJANISNYIKOV

6.1 A növényanalízis kialakulása és elterjedésének tényezői

A növények ásványi összetételének mai fogalmaink szerinti tudományos analízisét először talán De Saussure (1804) francia botanikus végezte el. Többek között megállapította, hogy a növényi hamu összetétele annak megfelelően változik, hogy mely talajon termett, mely növényi részt reprezentál, és milyen idős a növény vagy a növényi rész.

Nem sokkal később Boussingault (1851) szabadföldi viszonyok között alkalmazta e módszert, kiegészítve talaj- és trágyavizsgálatokkal. Liebig (1840) ásványi teóriájának és minimum-törvényének elfogadása természetesen hatalmas lökést adott a növényvizsgálatoknak. Megindultak a talaj termékenysége és a növényi tápelemkoncentráció közötti kapcsolatokat feltáró részletes, kísérletes vizsgálatok. Az agrokémia tehát a kezdetektől fogva egyforma intenzitással vizsgálta a talajt és a növényt.

Különösen sok elemzést végez Németországban Wolff (1872), akinek munkássága nyomán ismertté vált a főbb növények átlagos összetétele. A fő cél ekkor a betakarított termés hamuösszetételének megállapítása volt a trágyázás közvetlen irányítására. Liebig (1940) minimum-törvénye ugyanis mennyiségi formába öntötte az ásványi elméletet: "A szántóföldi növények termése arányosan nő vagy csökken a trágyákkal talajba juttatott ásványi anyagok mennyiségével." A növény összetételéből táblázatok készíthetők a gazdáknak az egyes kultúrák trágyaigényének megállapítására - hirdette Liebig.

Kétségtelenül előrelépésnek tekinthetjük a betakarított termés tápelemtartalmának, a "kivont" tápanyagoknak alapul vételét. Hiszen eddig teljesen vakon trágyáztak. A tápanyagmérleg elve, a tervezett termés tápelemigényének biztosítása trágyák útján mind a mai napig a trágyázási szaktanácsadás egyik alappillére maradt. A fajlagos, azaz az egységnyi főtermék és a hozzá tartozó melléktermék előállításához szükséges tápelemszükséglet ugyan nem azonos a trágyaigénnyel, azonban első megközelítésben utal rá. A növények ilyen irányú elemzése napjainkban is tovább folyik. Egyre újabb növényfajokra és az analitikai haladás eredményeképpen egyre újabb elemekre (pl. toxikus nehézfémek) terjed ki. A múlt század végén hazánkban Milhoffer (1897) foglalta össze táblázatosan az egyes kultúrák tápelemigényét.

A növényelemzés szigorúan véve csak az illető növény tápelemigényéről adhat információt. Elvileg sem lehet képes a talajban végbemenő élő és élettelen folyamatok közvetlen vizsgálatára. Nem is ez a célja. Másrésről a tápelemek

csak olyan mértékben befolyásolhatják a növényi növekedést, amilyen mértékig bekerülnek a növényi szervezetbe és hasznosulnak annak fejlődése folyamán. Ebből adódóan a növénytáplálás irányítása csak a talaj- és növényvizsgálatok együttes alkalmazására épülhet. Erre már Atterberg (1901) is rámutatott a századfordulón. Később a két kutatási irányzat eltávolodott egymástól. A növényanalízis egyik klasszikusa, Lundegårdh (1938) ezért vezette be az ún. "háromszoros" elemzés fogalmát. Javasolta a növény, a feltalaj és az altalaj vizsgálatát egyaránt elvégezni és az eredményeket egységesen értelmezni a tudományosan megalapozott szaktanácsadás számára.

A betakarított termés átlagos összetételének megismerésén túl másik kutatási irányzatot jelentett a diagnosztikai célú növényanalízis. A módszer azon a felismerésen nyugszik, hogy a növényi növekedés az ásványi elemek koncentrációjának is függvénye, melyet meghatározott növényi szervek a fejlődés stádiumaiban tükröznek. A növényelemzés adataival jellemezhető a növény tápláltsági állapota egy talajon, ezen keresztül pedig közvetetten becsülhető az adott talaj tápelemszolgáltatása ill. trágyaigénye. Erre utaltak a korai munkák, mint Stöckhardt (1855), Atterberg (1886) és különösen Hellriegel (1869) kísérletes eredményei. Az első növényanalitikai határkoncentrációkat már a múlt század hetvenes, nyolcvanas éveiben közölték a zab PK tartalmára vonatkozóan (Petersen 1878, Wolff 1878, Heinrich 1882, Liebscher 1887).

A kezdeti sikerek után azonban ezek a kutatások visszaszorultak, ill. nem vezettek látványos eredményekre. Az általános fejlődés még nem tette lehetővé használható módszer kidolgozását a gyakorlatnak. Hiányoztak a megfelelő analitikai eljárások, melyek elősegítették volna a tápelemek gyors és olcsó együttes meghatározását. Kevés ismeret gyűlt össze a tápelemek felvételét befolyásoló tényezőkről, valamint a fontosabb makro- és mikroelemeknek a termésképzésben játszott szerepét illetően. Nem voltak kidolgozva a megfelelő mintavételi módszerek elvi alapjai stb. Sok fáradságos és aprólékos munkára volt még szükség.

A század elején főleg kalászosokkal végzett nagyszámú kísérlet eredményeiből kiderült pl., hogy az évhatás vagy a mintavétel ideje nagyobb befolyással lehet a növényi beltartalomra, mint a trágyázási kezelés. Sokan zsákutcának tekintették e kutatásokat. A két világháború között azonban már sikeresnek bizonyul a francia Lagatu és Maume (1928) szőlővel és burgonyával, a svéd Lundegårdh (1932) kalászosokkal, Chapman (1941) Kaliforniában gyömolcsökkel, főleg citrusfélékkel stb. végzett kísérlete. A gyakorlati szaktanácsadást tekintve az állókultúrákban honosodik meg először a diagnosztikai növényanalízis a háborút követően. Itt ugyanis a növény a következő évben a termőhelyen marad és a szaktanácsadás felhasználható.

A 60-as évek óta robbanásszerűen terjed a diagnosztikai célú növényanalízis a szántóföldi kultúrákban is. Előtérbe kerülését több tényező segítette. E tényezők között első helyen említendő azok a megnövekedett igények, melyeket a jelenkori gazdálkodás állít az agrokémia elé. Az elvárásoknak a komplexebb új módszer, az élettani ismeretekre épülő növényanalízis képes megfelelni, amennyiben integrálja az eddigi hagyományos agrokémiai módszerek (talajvizsgálat, szabadföldi és tenyészedény kísérletek, tápelemmérlegek, táblatorzskönyvi adatok

elemzése, fenológiai megfigyelések stb.) eredményeit. A növényanalízis alapelveit és módszerét olyan fontosabb újkori munkákban követhetjük nyomon, mint Nagy (1936), Steenbjerg (1951), Lundegårdh (1951), Ulrich (1952), Smith (1962), Clements (1964), Chapman (1941, 1966), Frenyó (1965), Jones et al. (1967), Bater (1968), Kenworthy (1969), Boldürev (1970), Bergmann (1976, 1988), Bergmann és Neubert (1976), Cerling (1978, 1990).

Az elmúlt évtizedekben tehát kibővültek ismereteink a tápelemek talaj-növény rendszerbeni mozgását, átalakulását illetően. Tisztázódtak a mintavétel alapelvei. Az új, műszeres analitikai eljárások bevezetése, fizikokémiai mérési módszerek elterjedése (atomabszorpció, neutronaktiváció, röntgenfluoreszcencia), automatizált analitikai rendszerek behatolása az agrokémiába lehetővé teszi a nagyszámú növény minta gyors és sok elemre történő vizsgálatát. Az elektronikus számítógépek felhasználása leegyszerűsítette az adatok kiértékelését. Ehhez járult még a vetésszerkezet változása. Elterjedt a monokultúra és a dikultúra a szántóföldi művelésben. Így az egyéves növények is "többévesekké" válnak, a növényelemzéssel nyert információ jól felhasználható a következő évi műtrágyaszükséglet megállapításában.

A diagnosztikai célú levél-, ill. növényanalízis segítségével a növény tápláltsági állapotáról nyerünk információt. Az eljárás során a növény meghatározott fejlődési stádiumában, pontosan definiált helyről (szintről) vett kifejtett fotoszintetizáló zöld levél vagy levél funkcióját betöltő egyéb zöld növényi rész tápelem-tartalmának (ritkábban azok egy-egy frakciójának) pontos meghatározását végezzük el laboratóriumi körülmények között. Általában több elem egyidejű meghatározását jelenti és magában foglalja a tápelemarányok, tehát a kiegyensúlyozott tápláltság vizsgálatát. Mivel a mintavétel nemcsak a levélre vonatkozhat, hanem az egész föld feletti hajtásra is, a tágabb "növényanalízis" fogalom terjedt el.

A vizuális diagnosztikát ugyan nem követi feltétlenül a kémiai növényelemzés, de fogalma összefonódott az utóbbival. A diagnosztikai célú növényanalízis ugyanis mind a mintavételkor, mind az adatok értelmezésekor alapul veszi a vizuális megfigyelést. A látható tápelemhiány- és túlsúly tünetek identifikálása és feljegyzése az eljárás része. Önálló módszerként is alkalmazható a vizuális diagnózis. Ekkor a növény vagy egyes növényi szervek külső megjelenési formáinak (szín, habitus, növekedési rendellenességek stb.) a normálistól való eltérését regisztráljuk és értelmezzük.

A módszer előnye, hogy gyors és olcsó. Nincs semmiféle műszer vagy laboratórium igénye. A tünetek okai azonban többfélék lehetnek, mert a tápláltságon túl egyéb agrotechnikai, növényvédelmi, sőt időjárási tényezők is szerepet játszhatnak kifejlődésükben. Ez a körülmény határt szab a növénydiagnózis alkalmazásának, mert igen nagy tapasztalatot, sokoldalú képzettséget és háttérismeretet igényel. Ezúton csak utalunk Bergmann (1979) magyarul is megjelent munkájára, amely a szükséges ismereteket szabatosan összefoglalja. A könyv részét képező fotoatlasz nyomdatechnikai szempontból is alkalmas arra, hogy segítségével szabadföldi viszonyok között diagnosztizáljunk.

A szövet-teszt módszerek is lehetőséget nyújtanak arra, hogy a zöld növényi részek tápláltsági állapotát egy reagens hozzáadása és a standard színskálával

való összevetés után a helyszínen gyorsan megbecsüljük. Így a vizuális diagnózist félkvantitatív kémiai vizsgálattal egészíthetjük ki. Pontatlanságuk miatt azonban e módszerek kevésbé terjedtek el a szaktanácsadási gyakorlatban, a kutatás számára pedig érdektelenek maradtak. A módszer elvi alapjainak kidolgozásában és elterjesztésében élen jártak Magnickij et al. (1959) és Cerling (1956).

A fiziológiailag aktív zöld növényi részek elemzése lehetővé teszi kísérleteinkben azon hatásmechanizmusok megismerését, melyek a termést alakítják. A szabadföldi kísérlet ugyanis csak a végeredményt regisztrálja, míg a talajvizsgálatoknak önmagában nincs élettani értelme. A növényelemzés segíthet megérteni a trágyahatást vagy annak elmaradásának okát. Csak azon növénykísérleteket tekinthetjük igazán tudományos értékűnek, melyek a diagnosztikai célú növényanalízissel is kiegészülnek. Különösen vonatkozik ez a megállapítás a tenyészedény kísérletekre, melyek eredményeinek értelmezése és esetleges gyakorlati interpretálása növényélettani-növényelemzési információk nélkül nehezen valósítható meg. A növényanalízis konkrét céljai az alábbiak lehetnek:

- A növények tápláltsági állapotának megállapítása és területi azonosítása;
- Növényfajok vagy fajták eltérő viselkedésének, táplálkozásának vizsgálata;
- Tápelemek közötti kölcsönhatások (antagonizmus, szinergizmus) kimutatása;
- Adagolt trágyák hatásának ellenőrzése: bekerült-e az adott tápelem a növényi szervekbe vagy sem?
- Rejtett táplálkozási zavarok felderítése, tápelemhiány sorrendiség megállapítása;
- Már látható hiány- vagy túlsúlytünet azonosítása, megerősítése;
- Minden olyan esetben, amikor megmagyarázhatatlan fejlődési rendellenességek lépnek fel, az okok feltárása.

6.2 A növényi tápelemkoncentráció és a hozam összefüggése

A növény tápelemtartalma és növekedése közötti összefüggés nem lineáris, hanem egy önmagába visszahajló, félbevágott ellipszishez hasonló görbét ír le (6.1 ábra). Ez a görbe, ill. összefüggés nem egy adott kísérletből származik, hanem az elmúlt mintegy száz esztendő folyamán világszerte lefolytatott sok-sok ezer kísérlet tapasztalatára épül. Tehát egyfajta absztrakció (modell), melyhez elérkezett az élettan és az agrokémia. Főbb tanulságait szövegesen az alábbiakban foglaljuk össze:

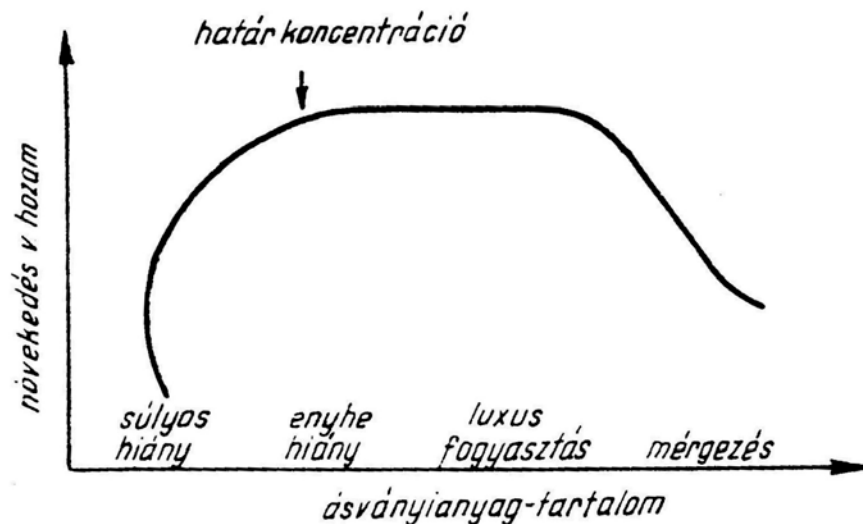
Erős tápelemhiány esetén a növények ásványianyag-tartalma csekély és a hozam alacsony. Ha a hiányt kicsit enyhítjük, a hozam egy ideig gyorsabban nőhet, mint a tápelemfelvétel. Ebből adódóan a növényi elemkoncentráció enyhén tovább csökkenhet, hígulhat (ún. Steenbjerg effektus feltárása a két világháború közötti években). A tápanyagkínálat további javulásával a felvétel sebessége eléri, majd meghaladja a növekedést. A növénybeni elemkoncentráció egyre nő.

Ezzel párhuzamosan a növekedés mind jobban visszaesik, majd megáll, amikor az illető elem minimuma megszűnik. Ez az a tápanyagmennyiség (határkoncentráció), amelynek legalább jelen kell lennie ahhoz, hogy a maximális termést elérhessük. A kínálat további növelése már nem elsősorban a termés hozamára hat. A fokozott felvétel ebben a tartományban hatástalan (luxus-

felvétel), hacsak a feleslegben felvett tápelemek nem képeznek tartalékot későbbi időszakokra. Esetleges előnyös vagy káros hatásuk a termés minőségében is megjelenhet.

6.1 ábra: Összefüggés a növények ásványianyag-tartalma, növekedése és hozama között

(Smith, 1962. nyomán)



A túl nagy kínálat végül is toxikussá válik (relatív tápelemhiányt indukálva más elemek felvételében), ezért a termés csökken. A növényi elemtartalom és a termés görbéjén a luxusfogyasztás jelentős területet képviselhet. Bizonyos elemek tág határok között feldúsulhatnak a növényben anélkül, hogy ez látható károsodáshoz vezetne. Más elemek optimuma szűk, gyorsan felléphet a hiány vagy a mérgező túlsúly.

A növény növekedése és fejlődése természetesen nemcsak a tápláltság, hanem számos más tényező függvénye. Belső növekedési tényezőkön a genetikailag rögzített tulajdonságok értendők, míg a külvilágból érkező hatások (fény, hő, víz, tápanyag) a külső növekedési tényezők. Ez utóbbiak szükségesek ahhoz, hogy a genetikailag rögzített tulajdonságok kifejlődhessenek és érvényre jussanak. A növényi tápelemkoncentráció és a hozam összefüggése növényenként és tápelemenként természetesen egyedi változékonyságot mutathat.

A növényelemzési adatok elsősorban az adott növény tápláltsági állapotáról informálnak és nem közvetlenül trágyaadagot határoznak meg. A talajvizsgálati adatokhoz hasonlóan a trágyaigény számításakor egyéb szempontokat (tervezett termés, elővetemény, talajvizsgálati információ stb.) is figyelembe kell venni. A módosító tényezők számszerű figyelembevétele az általános szaktanácsadási

irányelvek szerint történik (l. 6.8 fejezet), amelyeket pl. a MÉM NAK 1979-ben kiadott "Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer"-e foglalt össze.

Mivel a tápelemkoncentráció változik a növény korától és fajtától függően, valamint eltérő az egyes növényi részekben is, a mintavételeket szigorúan növény-fajra, fejlődési stádiumra és növényi szervre vagy részre írjuk elő. Ez képezi a növényelemzési adatok értelmezésének alapját és egyben kijelöli korlátait. A kapott vizsgálati eredmények értékelésénél első lépésben átlagokat képezünk a párhuzamos mintavétel analitikai adataiból mintavételi egységként, tehát parcellánként vagy táblarészenként. Ezeket az átlagadatokat összevetjük az etalontáblázatos határértékekkel (ellátottsági optimumokkal) és következtetéseket vonunk le a vizsgált terület növényállományának tápláltsági állapotára, ill. közvetetten a talaj tápelem ellátottságára. A növény ásványi tápelemtartalmát azonban számos belső és külső eredetű tényező befolyásolhatja. E tényezők ismerete nélkül a helyes következtetések levonása és a kapott eredmények gyakorlati felhasználása nehézségekbe ütközik.

Az alábbiakban kíséreljük meg áttekinteni e tényezőket olyan szempontból, hogy melyeket tudjuk figyelembe venni a szaktanácsadás során. Miképpen történhet ez a figyelembevétel ott, ahol az összefüggések tisztázottak? Hol vannak azok a fehér foltok, ahol a megítélés bizonytalan és a kutatás még adós a részletes iránymutatással? A növényanalízis módszerének alkalmazása kétségtelenül nagyobb hozzáértést és szakmai műveltséget igényel, mint a korábbi szaktanácsadási módszerek. Részben, amint erre utaltunk, ezért is vonult be csak a közelmúltban az agrokémiai kutatásba és a szaktanácsadásba. Mivel a növénytáplálás jelensége összetett, fontos a szemléleti tisztánlátás a módszer megértése és alkalmazása során.

6.3 A növény kora és a tápelemtartalom problémája, valamint a fajtakérdés

A növény élettani korától, a növény fajtától függően is változhat az egyes elemek koncentrációja. Milyen mértékű lehet ez a változás és mennyiben nehezítheti meg a módszer alkalmazását? A 6.2 táblázatban példaképpen bemutatjuk az őszi búza föld feletti termése tápelemtartalmának változását a tenyészidő folyamán. Az analíziseket nagyszámú mintán végeztük jól ellátott mezőföldi csernozjom talajon. A bemutatott adatok 25-30 mintavétel ill. analízis átlagait reprezentálják. A mintavétel április elejétől az érésig tartott és kiterjedt a fontosabb makro- és mikroelemekre (Kádár és Lásztity 1981). A vizsgálatok eredményeiből megállapítható, hogy a búza tápelemtartalma általában a bokrosodás idején a legnagyobb és fokozatosan csökken a tenyészidő folyamán. A hígulás mértéke eltérő volt elemenként, de a B és Mo kivételével minden esetben jelentős változásokat regisztrálhattunk. Az eredeti (bokrosodáskori) koncentráció esetenként 1/4-ére, 1/6-ára is lecsökkent. Az elemek növekvő hígulási sorrendje ezen a talajon a következő volt: B, Mo, P, Zn, Mg, Cu, N, Mn, Na, K, Fe, Ca.

6.2 táblázat: Az őszi búza tápelemtartalmának változása a tenyészidő folyamán. Mészlepedékes csernozjom talaj, 1978 (Kádár és Lásztity 1981)

Tápelem		Mintavétel ideje (hajtás)					
		IV.7.	IV.16.	V.6.	V.30.	VI.16.	VII.15.
Tápelemkoncentráció							
N	%	4.13	3.23	2.94	1.80	1.44	1.25
K	%	3.79	3.62	3.15	2.24	1.36	0.74
Ca	%	0.93	1.02	0.58	0.47	0.27	0.14
P	%	0.37	0.34	0.30	0.25	0.23	0.22
Mg	%	0.28	0.36	0.20	0.18	0.16	0.12
Na	%	0.12	0.11	0.08	0.07	0.06	0.03
Fe	ppm	883	862	484	231	166	144
Mn	ppm	145	196	81	59	53	41
Zn	ppm	27	26	20	17	13	13
Cu	ppm	9.1	8.1	6.6	5.1	4.0	3.4
B	ppm	4.6	5.7	4.4	3.7	5.9	3.9
Mo	ppm	0.6	0.6	0.6	0.5	0.8	0.5
Változás a bokorosodáskori (IV.7) %-ában							
N		100	78	70	44	34	32
K		100	96	83	59	36	20
Ca		100	110	62	51	29	15
P		100	92	81	68	62	59
Mg		100	129	71	64	57	43
Na		100	92	67	58	50	25
Fe		100	98	55	26	19	16
Mn		100	135	56	41	37	28
Zn		100	98	76	64	48	48
Cu		100	89	73	56	43	37
B		100	124	96	80	128	85
Mo		100	100	100	83	133	83

Számos más szántóföldi növény esetében is megfigyelték, hogy a fő tápelemek szezonális változásában elsősorban a K és a N hígulása a kifejezettebb, míg a P koncentrációja mérsékeltebben csökken a korról. Erre utal Amer és Abaumin (1969) a gyapot, Sims és Place (1968) a rizs, Hallock et al. (1969) a földimogyoró, Carpenter (1963) a burgonya példáján. Bear és Wallace (1950) nemcsak az előreledés hatását vizsgálta a lucerna tápelemkoncentrációira, hanem a vágások közötti szórásokat is a tápelemtartalmakban. Megállapításuk szerint ha a talaj tápanyagokkal kielégítően ellátott, és a vízellátás a tenyészidő folyamán optimális, az egymást követő vágások tápelemtartalmában is megfigyelhető a hígulás.

A Mezőföldön meszes csernozjomon beállított szabadföldi P műtrágyázási kísérletünk főbb eredményeit a 6.3 táblázatban tanulmányozhatjuk. Egy-egy éven belül a legnagyobb termést az első két kaszálás adta, a későbbi szárazabb időszak következtében. A kaszálásokkal általában nőtt a N, Ca, Mg, valamint csökkent elsősorban a K és kismértékben a P koncentrációja. A P-ellátással együtt a P, Mg és részben a N tartalom is emelkedett a növényben, míg a K ezzel ellentétesen változott. Mindezek a változások kifejezetten megfigyelhetők a főbb tápelemek arányaiban is. A lucerna előregedését, a kaszálások egymásutánosságát elsősorban a K-túlsúly mérséklődése és a Mg, valamint a Ca tartalom rendszeres növekedése jellemezte (Csathó és Kádár 1989).

6.3 táblázat: A lucerna tápelemtartalmának változása a tenyésztő folyamán. Mészlepedékes csernozjom, 1983-84. (Csathó és Kádár 1989)

Termés és tápelemek	Kaszálások 1983-ban			Kaszálások 1984-ben		
	1	2	3	1	2	3
P-szegény talajon, AL-P ₂ O ₅ = 75 ppm						
Széna t/ha	3.45	3.66	1.53	3.09	2.00	0.22
N %	3.23	3.48	3.47	2.96	3.81	3.57
K %	3.07	2.27	2.02	2.06	1.95	1.47
Ca %	1.79	1.76	1.92	1.76	2.20	1.66
Mg %	0.28	0.27	0.53	0.27	0.52	0.60
P %	0.21	0.17	0.16	0.19	0.21	0.19
K/P	14.6	13.4	12.6	10.8	9.3	7.7
K/Mg	11.0	8.4	3.8	7.6	3.8	2.4
K/Ca	1.7	1.3	1.0	1.2	0.9	0.9
K/N	1.0	0.6	0.6	0.7	0.5	0.4
P-ral jól ellátott talajon, AL-P ₂ O ₅ = 140 ppm						
Széna t/ha	4.56	3.76	2.07	5.34	2.42	0.82
N %	3.66	3.29	3.78	3.15	3.65	3.17
K %	2.41	1.60	1.37	1.77	1.65	1.11
Ca %	1.92	1.55	2.04	1.70	1.95	1.56
Mg %	0.41	0.33	0.69	0.35	0.61	0.69
P %	0.33	0.26	0.25	0.26	0.28	0.21
K/P	7.3	6.2	5.5	6.8	5.9	5.3
K/Mg	5.9	4.8	2.0	5.1	2.7	1.6
K/Ca	1.3	1.0	0.6	1.0	0.8	0.7
K/N	0.7	0.5	0.4	0.6	0.4	0.4

Megjegyzés: A Mg tartalom kivételével a vizsgált tulajdonságok szignifikánsan megváltoztak a talaj P-ellátottsága függvényében

A növény kora ill. faja által indukált koncentráció változások azonban nem érintik a módszert hátrányosan, amennyiben a mintavételi útmutatásokat betartjuk. Az adatok értelmezése, a növényi optimumok fajra, növényi részre és fejlődési fázisra adottak. Megfelelő mintavétel esetén is szükséges azonban az állomány fejlettségének értékelése, tehát egy-egy adott fejlődési stádiumon belül is. A koncentráció függ a növény tömegétől is. Az állomány fejlettségét bonitálással (gyenge, közepes, jól fejlett minősítéssel), vagy pontosabban súly- és magasságméréssel állapíthatjuk meg. A növényanalízis adatainak értelmezését segíti a Cerling (1978) által javasolt és a 6.4 táblázatba foglalt útmutatás. Utóbbi lényege, hogy ha a táplálkozáson kívüli tényezők kedvezőek, akkor a hígulási tényezőt, ellenkező esetben a töményedés jelenségét kell figyelembe venni. Tehát a növekedésében gátolt és kistömegű növény szöveteiben felhalmozódhatnak pl. tápelemek akkor is, ha a talaj tápelem szolgáltatása valójában mérsékelt, és fordítva.

6.4 táblázat: A növény tápláltsági állapotának megítélése az állományfejlettség és a tápelemtartalom összevetés útján (Cerling 1978)

Növényállomány állapota	Tápelemkoncentráció a növényben	A növény fejlődését gátló tényező
Igen gyenge Gyenge	Igen alacsony Kielégítő v. sok	Erős tápelemhiány Egyéb tényező
Közepes Jó-közepes Jó	Közepes Jó-közepes Kielégítő	Tápelemhiány Enyhe tápelemhiány Optimális ellátás
Jó v. közepes Rossz, esetleg toxicitási tünetekkel	Kielégítő felett Igen magas	Magas ellátás Káros túltáplálás (Mérgezés)

Az egyes növényfajok és fajták eltérő tápanyaghasznosítási képességéből, ill. az eltérő növekedési és fejlődési sebességéből adódóan a tápanyagtartalomban különbségek lépnek fel. Ha tehát egy adott talajon és tájon egyidőben különböző növényeket (fajtákat) termesztünk, eltérhet azok elemtartalma és aránya. Vajon ez előnye vagy hátránya a növényanalízis módszerének szaktanácsadási szempontból? A talajvizsgálati optimumok egy adott talajtípusra, vagy termőhelyre valóban egységesen adóttak, gyakran növényi fajra és fajtára való tekintet nélkül.

A növényanalízis alkalmazása során a fajok között fennálló eltérések nem jelentenek nehézséget, hiszen az optimumokat fajra közöljük. Kérdés azonban, hogy a fajon belül az egyes fajtáknak van-e specifikus tápelemigénye, vagy csak a trágyaigényük specifikus? Tehát a fajták genetikailag kódolt tápelemösszetétele jelentősen és megfoghatóan különbözik-e egymástól, vagy csak a talajjal szembeni (a talaj ellátottságával, trágyázottságával szembeni) igényük más. Például a

különböző gyökéraktivitásukból kifolyólag? Egyértelmű válasszal a kutatás még adós, kevés részletes kísérleti adat áll rendelkezésre.

Amennyiben beszélhetünk a fajták sajátos tápelemigényéről, akkor elvileg jogos az a törekvés, hogy a növényi határértékeket fajtákra is finomítsuk. Szántó-földi viszonyok között azonban gyorsan cserélődnek a fajták. Állókéltárakban a fajtaváltás lassúbb, így pl. a szőlőtermesztésben évszázados fajtákat is találunk a köztermesztésben, itt is általános azonban a fajra megadott határértékek közlése az irodalomban. Így pl. Kenworthy (1967) számos növényfajon végzett összehasonlító vizsgálatainak eredményeképpen arra a következtetésre jut, hogy a fajták közötti eltérések nem teszik lehetetlenné az egységes határkoncentrációk használatát gyümölcsre és szőlőre.

A Szovjetunióban Cerling (1978) kifejezetten hangsúlyozza azt az általánosan elfogadott véleményt, hogy az egyes fajták optimumai közötti eltérés jelentéktelen a tápelemtartalomban. Az optimális tápelemekkoncentrációk közelállóak, fiziológiai és genetikai jellemzői a fajnak. Ebből adódóan a növényanalitikai határértékek könnyen adaptálhatók és egyetemes jelleggel bírnak. Tehát jól használhatók különböző termőhelyeken és régiókban, eltérő talajokon, az adott faj tápláltsági állapotának kontrolljában. A növényi optimumok fajra adottak, nem pedig tájra vagy talajra. A növényi élettani igénye hasonló minden tájon és talajon, csak szűk intervallumban ingadozhat.

Az egyes fajták trágyaigénye ugyanakkor gyakran eltérő. Így pl. ha egy fajtának gyengébb a P-hasznosító képessége a talajból vagy a trágyából, kisebb lehet ugyanazon a talajon a P tartalma. Ebből adódóan nagyobb trágyaigénnyel kell számolnunk ahhoz, hogy a gyengébb P-feltevő képességgel rendelkező fajta P ellátottságát (P tartalmát) is a kielégítő szintre emeljük. A növényanalízissel tehát feltárható és megismerhető a fajták eltérő tápanyaghasznosító képessége és trágyaigénye. Így pl. a Chasselas szőlőfajta Bergmann (1979) szerint nagyon érzékeny a Mg hiányára. A hiányt előidézhetheti, ill. fokozhatja a túladagolt K trágyázás, de oka lehet a gyengébb Mg felvevőképességgel rendelkező alany is. A növényanalízis során a K/Mg arányát kísérik figyelemmel. A K túlsúlyt 6 fölé nem ajánlatos növelni K trágyázással. Az említett okok miatt az alanyt is fel kell tüntetni a szaktanácsadás során, hiszen a trágyaigényt a tápanyagokat legrosszabbul hasznosító fajtához kell igazítanunk. A jövőben ellenőriznünk kell, hogy a helyes diagnózist a fajtakülönbségek mennyiben befolyásolhatják.

6.4 A tápelemarányok problémája

A tápionok közötti kölcsönhatások, amelyek a talajban és a növényben egyaránt lejátszódnak, a növényi tápelemtartalmat ill. felvételt befolyásolják. Ez a jelenség régóta ismert. A kiegyensúlyozott optimális tápláltságról akkor beszélhetünk, ha minden tápelemből kielégítő mennyiség van a növényben. A növényelemzés klasszikusai szerint a koncentráció a tápláltság mennyiségi viszonyait, míg az arányok a tápláltság minőségét tükrözik. A növényanalízis során ezért minél több elemet kell meghatározni, néha nem kifejezetten tápelemeket is. Egy elem esetlegesen "kielégítő" ellátottsága ugyanis más elem hiányán alapulhat vagy fordítva, az alacsony tápelemtartalom nem minden esetben jelent "hiányt".

A növényanalízis egyik pozitívuma, hogy képes azokat a kölcsönhatásokat kimutatni, melyek a tápelemfelvétel során lejátszódnak. Így pl. előfordulhat, hogy a talajvizsgálatok szerint egy tábla Mg ellátottsága kielégítő, azonban relatív Mg hiány lép fel a talaj magas könnyen oldható K tartalma miatt. Utóbbit a növényi szövetek túlsúly K/Mg aránya jól jelezheti. Hazánkban a meszes Duna-Tisza közti homokokon inkább a fordított eset a gyakoribb. A talajok K készlete alacsony, míg a Mg, főleg azonban a Ca túlsúly már nemkívánatos. Megfelelő K trágyázással a harmonikus táplálás biztosítható, ill. a talaj termékenysége helyreállítható. Az elmondottak illusztrálására a 6.5 táblázatban mutatjuk be egyik szabadföldi tartamkísérletünk néhány eredményét.

6.5 táblázat: A K műtrágyázás hatása a kukorica tápláltsági állapotára. Meszes humuszos homoktalaj, Örbottyán (Szemes-Lásztity-Kádár 1984)

Tulajdonság	K ₀	K ₈₀	K ₁₆₀	K ₂₄₀	SzD _{5%}	Optimum*
1976-ban 6 leveles korú föld feletti hajtás						
K %	1.57	2.91	3.45	4.12	0.23	3.0-4.0
Ca %	1.18	0.99	0.91	0.80	0.08	0.3-0.7
Mg %	0.71	0.54	0.49	0.43	0.03	0.2-0.6
K/Ca	1.3	2.9	3.8	5.2	0.5	5-10
K/Mg	2.2	5.4	7.0	9.6	1.2	7-15
K/P	4.5	8.6	10.1	11.8	1.7	6-12
1977-ben 6 leveles korú föld feletti hajtás						
K %	1.70	3.01	3.58	4.27	0.32	3.0-4.0
Ca %	1.27	1.21	1.13	1.10	0.09	0.3-0.7
K/Ca	1.3	2.5	3.2	3.9	0.6	5-10
K/P	4.6	8.4	9.7	11.9	2.1	6-12
Szemtermés t/ha						
1976	2.47	4.86	5.66	6.21	0.49	-
1977	4.11	6.40	6.78	6.78	0.42	-

*Az optimális összetétel Bergmann és Neubert (1976), valamint Kádár et al. (1981) szerint becsülve.

A K ellátás hatását 8 éven át tanulmányoztuk monokultúrában. A 6.5 táblázatban közöltek a monokultúra 5. és 6. évére vonatkoznak. Megállapítható, hogy a kielégítő K ellátottságot az évente adott 240 kg/ha K₂O felhasználás biztosította. Itt a parcellák AL-K₂O tartalma a 66 ppm kiindulási értékről 100-120 ppm értékre emelkedett, elérve a jó-közepes ellátottságot. A növényi szövetekben az optimálishoz közeli tápláltsági viszonyok alakulhattak ki a K pótlásával, amely a termésekben is megnyilvánult. A különösen száraz "rossz" kukorica évben, 1976-ban a szemtermés 2.5-szeresére emelkedett, elérve a 6 t/ha

menntiséget. A harmonikus táplálás tehát csökkentheti a monokultúra hátrá-nyait, az igen kifejezett évhatást, valamint az aszályérzékenységet.

Amennyiben csupán egy-egy tápelem vizsgálatára szorítkozunk, a növény-elemzés eredménye félrevezető lehet. Mivel a növény az esszenciális elemeket meghatározott arányban, ill. egyensúlyban igényli a fotoszintézis során, egyik elem minimuma kiválthatja a többi elem felvételének pótlását is. Egy szabadföldi 12 éves P-műtrágyázási tartamkísérletünkben pl. azt találtuk, hogy a bokrosodás végén - szárbaindulás elején analizált őszi búza N és K tartalma ott volt a legalacsonyabb a növényben (P-kontroll parcellák), ahol a talajban a legtöbb N és K halmozódott fel. Erre utalnak a 6.6 táblázat eredményei.

6.6 táblázat: A talaj P-ellátottsága, a szárbaindulás elején mért növényelemzési adatok, valamint a szemtermés összefüggése. Őszi búza monokultúra. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörccsök, 1973. (Kádár 1976)

Adott P ₂ O ₅ kg/ha/12 év	AL-P ₂ O ₅ ppm	Szárbaindulás elején a hajtásban					Szemtermés t/ha
		N%	P%	K%	N/P	K/P	
-	63	3.59	0.20	2.34	18	12	1.67
160	79	3.90	0.24	2.77	16	12	2.78
240	108	4.15	0.28	2.59	15	9	3.52
480	123	4.45	0.30	2.72	15	9	3.80
640	134	4.50	0.32	2.92	14	9	4.12
800	153	4.42	0.35	2.86	13	8	3.72
1040	200	4.90	0.44	2.92	11	7	4.36
1440	234	4.91	0.40	2.99	12	8	4.22
1680	257	4.43	0.40	2.86	11	7	4.30
SzD ₅ %	25	0.46	0.06	0.14	2	2	0.40

A kísérlet első 4 évében kukoricát, azt követően 8 éven át búzát termesztettünk monokultúrában meszes csernozjom talajon az MTA TAKI nagyhörccsöki kísérleti telepén. Az alaptrágyázás 200 kg/ha N és 100 kg/ha K₂O volt egységesen az egész kísérletben, amely jelentősen meghaladta a foszforral 12 éven át nem trágyázott 2-3 t/ha szemtermést adó parcellák növényi felvételét. A P hiányos parcellákon ugyanakkor a hajtás N %-a 3.6 % volt, míg a talaj P ellátottságának javulásával (termésszintek növekedésével, a N kínálat csökkenésével) 4.5-5.0 %-ra emelkedett. Ugyanitt a P % 0.2-ről 0.4-re nőtt.

A P-kontroll parcellák növényállománya önmagában a N % alapján ítélve nitrogénnel nem kielégítően ellátottnak tűnhetne. Az N/P aránya azonban jól mutatja, hogy a 3.6 % N tartalom ellenére 18-szoros N túlsúly áll fenn a P-hoz viszonyítva a kontroll talajon. Ez az erős N túlsúly a talaj P ellátottságának javulásával 11-12 értékre szűkült. Hasonlóképpen változott a K tartalma is a növényben P trágyázás hatására, bár kisebb mértékben, mint a N. A 3.6 % össznitrogén tartalom jelenthet tehát igen erős N túlsúlyt, míg a 4.5-5.0 % N tartalom "csupán" kielégítő N-ellátottságot.

A 6.7 táblázatban bemutatjuk az őszi búza NPK ellátottságának megítélésére szolgáló növényvizsgálati optimumokat, melyeket a tápelemkoncentráció és a tápelemarányok együttes figyelembevételével állapítottunk meg hazai szabadföldi kísérletekben, a bokrosodás vége (Feekes 5-6) stádiumára. Az NPK műtrágyázási tartamkísérleteinket eltérő fajtákkal folytattuk az ország különböző vidékein. A kapott optimumok jó egyezést mutattak a nemzetközi szakirodalomban közölt adatokkal (Kádár és Krámer 1978, Kádár 1980).

6.7 táblázat: Az őszi búza tápláltsági állapotának megítélése a bokrosodás vége, szárbaindulás eleji növényanalízis adatai alapján (Kádár és Krámer 1978)

Növényi jellemző	Tápelem ellátottsági tartományok			
	Gyenge	Közepes	Kielégítő	Magas
N ellátottság				
N %	3.0 alatt	3.0-4.0	4.0-5.0	5.0 felett
N/P	7.5 alatt	7.5-9.0	9.0-12.0	12.0 felett
N/K	0.8 alatt	0.8-1.0	1.0-1.2	1.2 felett
P ellátottság				
P %	0.30 alatt	0.30-0.40	0.40-0.50	0.50 felett
N/P	14 felett	14-12	12-9	9 alatt
K/P	14 felett	14-12	12-9	9 alatt
K ellátottság				
K %	2.5 alatt	2.5-3.5	3.5-4.5	4.5 felett
N/K	2.0 felett	2.0-1.5	1.5-1.0	1.0 alatt
K/P	6.0 alatt	6.0-8.0	8.0-10.0	10.0 felett

Felmerül a kérdés, hogy ha a tápelemarányok figyelemmel kísérése ilyen alapvető jelentőséggel bír a helyes diagnózis szempontjából, akkor az útmutatók és kézikönyvek etalontáblázatai közül miért hiányoznak a tápelemarány táblázatok? A legtöbb szerző valóban nem közöl külön tápelemarányokat, hacsak nem kimondottan valamely arány vizsgálatát tűzte ki célul. Az optimális összetétel ugyanis a kiegyensúlyozott tápláltságot is reprezentálja, a tápelemarány optimumai a koncentrációkból számíthatók. Erre mutatunk be példát a 30 cm körüli 4-6 leveles kukoricára a 6.8. táblázatban. A Bergmann és Neubert (1976) által közölt optimális tartalmakból számítottuk az optimális arányokat (Elek és Kádár 1977).

A bemutatott esetben nem számoltunk ki minden lehetséges arányt, csak azokat az NPK trágyázással összefüggő fontosabb arányokat, amelyeket egy hazai meszes csernozjomon kívánatosnak ítéltünk. A szaktanácsadás és a kutatás számára azon arányok kontrollja minősülhet kívánatosnak, melyek egyes elempárok szinergista vagy antagonista kölcsönhatásait tükrözik. Ilyenek lehetnek pl. a K/Na, K/Mg, K/Ca, K/B és K ellátottsággal összefüggésben; vagy a P/Fe, P/Mn, P/Zn, P/Ca, P/Mg a P trágyázás kapcsán. Az inkább fiziológiai kutatásokban gyakran indokolt Bergmann (1979) szerint a Fe/Mn, Mg/Mn,

Mn/Mo, Ca/Mn, B/Mo, NH₄/Ca, NH₄/Mg, NO₃/K, NO₃/Ca, NO₃/Mo arányok vizsgálata is.

A tenyésztési folyamán természetesen nemcsak a tápelemkoncentráció változik a növényben, hanem az elemek egymáshoz viszonyított arányai is. A 6.9 táblázatban az őszi rozs példáján mutatjuk be a kielégítő ellátottság megítélésére szolgáló határértékeket, melyeket Cerling (1978) javasolt és saját kísérleteinkben is ellenőriztük (Kádár-Lásztity-Szemes 1982). A tápelemarányok és a hozam összefüggésében is érvényesül a minimum törvénye. Amennyiben az összefüggést elég nagyszámú és heterogén adat birtokában egy koordináta rendszerben ábrázoljuk, és burkológörbével jellemezzük, úgy saját vizsgálataink (Kádár et al. 1981, Pusztai és Kádár 1980) szerint is egy gúlát kapunk. Az alacsony termésekhez szinte bármilyen tápelemarány vagy koncentráció tartozhat a gúla kiszélesedő talpazati része szerint, míg a nagy termésekhez csak egy szűk optimum a gúla csúcsi része alapján. Erre utal a 6.10 ábra.

6.8 táblázat: A 30 cm körüli kukorica tápelemellátottságának megítélése a tápelemtartalom (Bergmann és Neubert 1976) és az azokból számított arányok (Elek és Kádár 1977) alapján

Tápelem ill. arány	Ellátottsági szint		
	Alacsony	Kielégítő	Magas
A tápelemtartalom alapján			
N %	3.5 alatt	3.5-5.0	5.0 felett
K %	3.0 alatt	3.0-4.0	4.0 felett
Ca %	0.3 alatt	0.3-0.7	0.7 felett
Mg %	0.2 alatt	0.2-0.6	0.6 felett
P %	0.3 alatt	0.3-0.5	0.5 felett
A tápelemarányok alapján számítva			
N N/P	10.0 alatt	10.0 - 11.7	11.7 felett
Ca Ca/P	1.0 alatt	1.0 - 1.4	1.4 felett
Mg Mg/P	0.7 alatt	0.7 - 1.2	1.2 felett
P P/Mn	17 alatt	17 - 100	100 felett
P P/Zn	83 alatt	83 - 150	150 felett
Zn P/Zn	150 felett	150 - 83	83 alatt
P P/Cu	200 alatt	200 - 600	600 felett
K K/P	8 alatt	8.0 - 10.0	10 felett
K K/Ca	5.7 alatt	5.7 - 10.0	10 felett
K K/Mg	6.7 alatt	6.7 - 15.0	15 felett
K K/Mn	133 alatt	133 - 1000	1000 felett
K K/B	1600 alatt	1600 - 6000	6000 felett

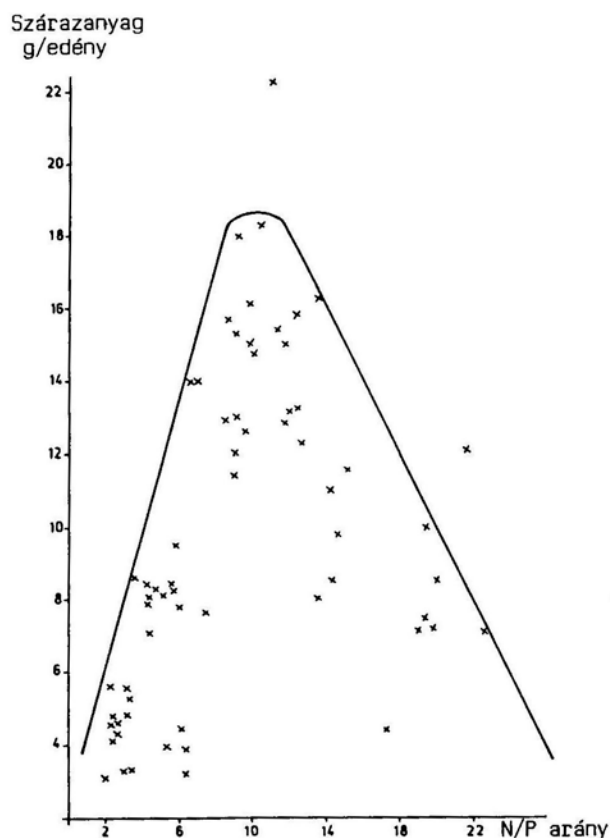
A tápelemarány önmagában, kevés számú adat vagy egyedi vizsgálat alapján értékelve félre is vezethet. Amint Sumner (1978, 1979) megjegyzi, az arány nem más, mint a számláló és a nevező hányadosa. Tehát két elem egymáshoz viszonyított értékéről tájékoztat, nem informálva azok mennyiségéről. Az N/P aránynak van pl. egy optimuma adott növényre, stádiumra. Ha az arány ebben a tartományban van, a termés hozam elvileg nagy lehet. Az optimális arány azonban három lehetőséget takar. A számláló és a nevező együttesen lehet optimumban, feleslegben és hiányban. Ha csak az arányt ismerjük, nem állapítható meg, hogy az esetek közül melyik állott elő. Hasonlóképpen, ha pl. az N/P aránya tágabb az optimumnál, egyaránt lehetséges abszolút N túlsúly vagy csak relatív túlsúly. Utóbbi esetben a N túlsúlya a P hiányán alapul.

6.9 táblázat: Az őszi rozs "kielégítő" NPK ellátottságának megítélése a különböző fejlődési stádiumokban kapott növényelemzés adatok alapján

Növényelemzési paraméter	<u>"Kielégítő" ellátottsági tartományok a tenyészidő folyamán</u>			
	Bokrosodás	Szárbaindulás	Kalászás	Virágzás
Tápelemtartalom alapján (Cerling 1978, 1990)				
N %	4.0 - 5.0	3.2 - 3.8	1.1 - 1.5	1.0 - 1.1
K %	4.0 - 5.0	2.5 - 3.3	1.7 - 2.3	1.4 - 2.1
P %	0.52 - 0.65	0.35 - 0.45	0.28 - 0.30	0.25 - 0.28
Tápelemarányok alapján (számított, saját becslés)				
N/P	8 - 10	6 - 8	5 - 7	4 - 5
K/P	8 - 10	5 - 7	6 - 8	8 - 10
N/K	0.8 - 1.2	1.0 - 1.5	0.5 - 0.8	0.4 - 0.6

Az elmondottakból következik, hogy minél több arányt kell egyidejűleg vizsgálni a minimum tényező megbízhatóbb becslésére. Az arány és a koncentráció adatait, optimumait egyaránt figyelembe kell venni. Az elmúlt két évtizedben több növényre állapítottunk meg kísérleteinkben optimumokat, ill. adaptáltunk az irodalomból. A tápláltsági állapot jellemzésére igyekeztünk az optimum tartományokat koncentrációkkal és arányokkal egyaránt jellemezni. Így pl. a búzára (Kádár és Krámer 1978, Kádár és Lásztity 1981), a kukoricára (Elek és Kádár 1977, Kádár 1988), rozsra (Kádár et al. 1982), cukorrépára (Kádár 1988), tavaszi árpára (Sz.Nagy és Kádár 1989), a napraforgóra (Kádár és Vass 1988) stb. közöltünk adatokat, ill. optimumokat.

6.10 ábra: A 6 leveles kukorica szárazanyag hozamának, valamint a N/P arányának összefüggése. Két növedék átlaga, 1978. (Pusztai és Kádár 1980)



6.5 Az időjárás tényezői, az évhatás problémája

A klímátényezők a talaj tápanyagszolgáltatását és a növény növekedését egyaránt befolyásolják, ezért a növényi tápelemtartalommal való kapcsolatuk bonyolult. Az időjárás komplex tényezőket foglal magában. A talajnedvesség vagy a levegő hőmérsékletének változása pl. javíthatja a talaj tápelemeinek felvehetőségét. A növény növekedése és a tápanyagok érvényesülése is javul azonban, így a két ellentétes hatás kiegyenlítheti egymást. Egy-egy klímátényező hatása mégis gyakran tükröződik a tápelemtartalomban, amely a növekedés gátlásának vagy gyorsításának következménye. Direkt hatás akkor várható, ha a két ellentétes folyamat eltérő intenzitású. Mindkét jelenséget az optimumgörbe jellemzi ugyan, de utóbbi esetben az optimumok nem esnek egybe. Tekintsük át e

tényezőket, hogy a hatásmechanizmusuk ismeretében és a mintavétel körülményeire támaszkodva számba vehessük esetleges tápláltsági állapotot módosító hatásukat.

A tápelemfelvétel előfeltétele a nedvesség, mert döntően oldott állapotban veszik fel a növények az ásványi elemeket. A hiánytünetek is elsősorban a szárazabb időszakokban és években jelentkeznek. A vízadagolással a tápelemek felvétele javulhat. Az elemek koncentrációja azonban csak akkor fog nőni, ha a növény növekedése elmarad a felvétel ütemétől. Hazai viszonyaink között pl. a N %-a kisebb szárazság idején gyakran emelkedik, mert erősebben gátolt a növényi növekedés, mint a N-felvétel. Hosszan tartó szárazság esetén azonban csökkenhet a N koncentrációja, mert a felvétel is leáll, valamint a trágya-N sem juthat be a gyökérszónába. A P felvétele egyértelműen rosszabb száraz periódusban. Különösen megfigyelhető ez a jelenség száraz tavaszon a fiatal növényeken. Az oldhatósági viszonyok rosszabbodnak a talajban, a diffúziós utak meghosszabbodnak és a kötöttebb P-formák nem mozognak. A N ezzel szemben kis talajnedvességnél is kielégítően felvehető tömegáramlással, transzspirációs árammal.

A K átmenetet képez a N és a P között, bár közelebb áll a foszforhoz. A nagyon nedves viszonyok olyan mértékben növelhetik a K felvételét, hogy a Mg hiánya is felléphet egyes talajokon, amennyiben a K készlet nagy a talajban. A N-hez hasonlóan mozgékony tápelemnek minősül a Ca, Mg, Na is. A legtöbb mikroelem felvétele azonban a P-hoz hasonlóan száraz években gátolt. Ebben szerepet játszik az is, hogy a P, K, Fe, Mn, Zn felvételében a diffúzió és ezért az oldhatósági körülmények dominálnak, míg pl. az említett N, Ca, Mg, B, Mo felvételében a tömegáramlás inkább meghatározó (Barber és Olson 1968).

Szántóföldi körülmények között nem mindig kaphatunk egyértelmű összefüggést a csapadék mennyisége és a növényi elemkoncentráció között. A csapadék nemcsak a talajra hat (oldhatósági viszonyok), és nemcsak a növényi növekedésre közvetetten (hígulási effektus). Az esőzés egyik közvetlen hatása a növényre, hogy kimoshat elemeket és így csökkentheti a föld feletti növényi rész, elsősorban a levél tápelemtartalmát.

Egy sor zöldség- és gyümölcsfajon megállapították, hogy a kimosódási veszteségek a fiatalabb levelekben csekélyek, az elöregedéssel azonban erőteljesen nőhetnek. A burgonya levelének K tartalma pl. Cerling (1990) szerint a tartós esőztető öntözés hatására akár 1/3-ára is lecsökkenhet. Ezért kell kerülnünk hosszan tartó esőzések után a diagnosztikai célú növénymintavételeket. Extrémabb esetekben külön mintavétellel kell megítélni a változásokat. Általában elfogadott, hogy a tartós esőzések után néhány napig szüneteltetik a mintavételeket. Hasonló hatású lehet és kilúgást eredményezhet a levegő magas páratartalma ill. a köd.

Felmerült a kérdés, vajon a növényelemzés jellemzői mennyire stabilak az éveket tekintve? Mekkora lehet az évhatás, és ez a tényező mennyiben befolyásolja az eredmények értelmezését? Az évhatás magában foglalja a klímátényezők összességét, tehát komplex fogalom. Elemzésére akkor nyílik mód szántóföldön, amikor egy adott termőhelyen több éven át azonos növényt termesztünk és az évek között jelentős különbségek lépnek fel egy-egy klímátényezőt tekintve. Igaz ugyan, hogy szigorúan véve ez az állapot tisztán nem valósul meg. Például a

nedves, párás, borús, esős években nemcsak a csapadékbőség jelentkezik, hanem a fényszegénység is. Hasonlóképpen a száraz éveket a fény és a hő bősége is jellemzi.

A klímátényezők szabatos vizsgálata klímakamrákban végezhető. Arra azonban választ kell kapnunk, hogy az évhatás hogyan jelentkezik a szántóföldön és miképpen vegyük figyelembe. Valamint hogy a növényelemzés módszerének az így jelentkező instabilitás előnyére vagy hátrányára szolgál-e? A 6.11 táblázatban összefoglaltuk az egyik 14 éves NPK műtrágyázási tartamkísérletünk néhány eredményét, ahol a száraz 1976-os és a kedvező csapadékeloszlású 1977-es évben növénymintavételezésre került sor a szárbaindulás kezdetén (Feekes 5-6 stádiumban).

A P kísérletben egységes NK alaptrágyázást biztosítottunk. A mészlepedékes csernozjomon beállított kísérletet korábban már ismertettük (Kádár és Krámer 1978). Amint a 6.11 táblázat adataiból látható, a kedvező 1977. évben nemcsak a szárazanyag nőtt 2-3-szorosára, hanem a P % tartalmak is emelkedtek. Az N/P aránya ugyanakkor jelentősen szűkült. A növényanalízis eredményei a talaj tápanyagszolgáltatásában ténylegesen bekövetkezett változásokat tükrözik. A csapadékos évben valóban javult a növények P ellátottsága (csökken a trágyaigény), míg a N túlsúlya mérséklődött.

6.11 táblázat: A talaj P-ellátottsága és a szárbaindulás elejei növényelemzési adatok összefüggése száraz és nedves évben. Őszi búza, Kavkáz. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök (Kádár és Krámer 1978)

AL-P ₂ O ₅ 1977-ben ppm	1976: csapadékhiányos év				1977: csapadékos év			
	Légsz. súly,kg/ha	P %	N/P arány	Felvett P kg/ha	Légsz. súly,kg/ha	P %	N/P arány	Felvett P kg/ha
46	130	0.19	22	0.2	460	0.30	12	1.4
46	150	0.21	19	0.3	710	0.33	12	2.3
57	180	0.22	18	0.4	670	0.38	11	2.5
74	250	0.24	17	0.6	550	0.38	11	3.6
108	410	0.30	14	1.2	1330	0.41	9	5.4
124	560	0.36	12	2.0	1610	0.41	9	6.6
161	680	0.40	11	2.7	2000	0.46	8	9.2
SzD ₅ %	160	0.04	2	0.7	230	0.04	1	0.9
Átlag	337	0.27	16	1.1	1047	0.38	10	4.4

Az évhatás és a N ellátás kapcsolata jobban tanulmányozható a 6.12 táblázatban bemutatott N kísérlet adatain. Amint a légszáraz súlyok mutatják, főként a növekedés gátolt a száraz évben, míg a N tartalom átlagosan 1976-ban magasabb, tehát a N felvétel kevésbé gátolt. A trágyahatás a nedves évben kifejezettebb. A N kísérletben egységes volt a PK trágyázás. Az N/P arányok megerősítik, hogy száraz évben gyorsabban fellép a N túlsúlya. Ez várható is, hiszen nincs kimosódás, mérsékelt a N-igény az alacsony hozam miatt, a felvétel

pedig még kielégítően biztosított tömegáramlással. A P oldhatósági viszonyai ugyanakkor romlanak. Mindez tükröződik a száraz év táguló N/P arányaiban.

Összefoglalva az eddig elmondottakat arra a következtetésre juthatunk, hogy a növényanalízis adatainak az évhatással kiváltott instabilitása a módszer előnye. Mindez a talaj tápanyagainak oldhatósági viszonyaiban létrejött tényleges változásokat, illetve a növény tápláltsági állapotában és a trágyaigényében bekövetkezett aktuális módosulásokat tükrözi. Lehetővé válik ezáltal a trágyázási beavatkozás a növény igénye szerint a tenyészidő folyamán. A módszer tehát az időszakosan végzett talajvizsgálatok hiányosságait pótolhatja, azt kiegészítheti.

Általában ismert, hogy a hő emelkedése bizonyos határig növeli a tápanyagfelvétel sebességét. A felvétel ugyanis nem független az energetikai folyamatoktól. A hőmérsékleti optimumok megállapítása azonban nehéz, mert azok növényenként és elemenként eltérők lehetnek. Az irodalom gyakran ellentmondó adatokat közöl a tápelemtartalom és a hőmérséklet viszonyát illetően. Ennek egyik oka, hogy a koncentrációk változása mellett nem veszik figyelembe a növekedés változásait.

6.12 táblázat: A N trágyázás és a szárbaindulás elejei növényelemzési adatok összefüggése száraz és nedves évben. Őszi búza, Kavkáz. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök (Kádár és Krámer 1978)

Adott N 14 év alatt kg/ha	1976: csapadéghiányos év				1977: csapadékos év			
	Légsz. súly,kg/ha	N %	N/P arány	Felvett N kg/ha	Légsz. súly,kg/ha	N %	N/P arány	Felvett N
640	420	3.2	9	13	540	2.9	7	16
1140	510	3.4	10	17	620	2.8	7	18
1300	550	3.9	12	22	1140	2.8	8	32
1490	500	4.2	12	22	1250	3.6	9	45
1620	540	4.2	11	23	1360	3.7	9	50
1810	540	4.2	12	23	1650	3.8	9	62
2450	600	4.2	14	26	1460	4.3	11	60
SzD ₅ %	200	1.0	2	7	360	0.5	2	10
Átlag	523	3.9	11	21	1146	3.4	9	40

Szabadföldön és klímakamrákban végzett kísérletek segítségével többen megállapították, hogy a hőmérséklet emelkedése tavasszal jobban serkentheti pl. a P felvételét, mint a növekedést vagy a N felvételt. Az N/P aránya szűkülhet a talaj hőmérsékletének emelkedésével, mert gyorsabban javul a növény P ellátottsága mint a N ellátottság. Amennyiben tehát a korai mintavételt követően melegszik fel az időjárás és a talajhőmérséklet, feltehető, hogy az N/P aránya szűkülni fog a növényben. Saját sokéves megfigyeléseink is alátámasztják, hogy a P hiánytünetek kora tavasszal a bokrosodáskori kalászosokban a legkifejezet-

tebbek, míg a fejlődés későbbi szakaszában mérséklődnek vagy eltűnhetnek. A hőmérséklet megváltozása, a lehűlés egyes tápelemek kiválasztását eredményezheti a növényben. Eddigi megfigyelések szerint elsősorban K, esetleg Mg veszteség léphet fel (Wallace et al. 1972). Úgy tűnik a Ca felvételének egyértelműen nem kedvez a hőemelkedés. Ennek oka lehet, hogy a talajoldat alacsony hőmérsékleten tartalmaz több CO_2 -ot és ebből adódóan a Ca vegyületek oldékonysága is ekkor a legnagyobb.

A fény a korábban taglalt nedvesség és hőmérséklet klímátényezőkkel szemben közvetlenül a talajra nem hat, csak a növényre, a növény növekedésére és a tápanyagok hasznosulására. Ismeretes, hogy árnyékban a legtöbb tápelem koncentrációja nőhet. Ha pl. N-hiányos növényeket árnyékba helyezünk, a hiány gyakran eltűnhet. A jelenség a növény lecsökkent N igényével hozható összefüggésbe árnyékos, ill. gyengén megvilágított viszonyok között. Amennyiben azonban a talaj N szolgáltatása igen jó, a fényerősség javulása még növelheti is a növény N %-át. A fényerősség és a tápelemtartalom összefüggése tehát a tápláltság, ill. a talaj tápelemszolgáltatása függvényében értelmezhető helyesen.

A fény hatása a növényre sokoldalú lehet. A fotoszintézis szempontjából a látható fény hullámhossza a döntő. A rövidhullámú ultraibolya sugárzás serkenti a növény illat és aroma anyagainak szintézisét. Nagyobb dózisú sugárzás már károsíthat. A hosszúhullámú infravörös sugárzás döntően hősugárzás, így a környezet hőmérsékletére gyakorol befolyást. A sötétség erősebb megnyúlást okoz és etioláltsághoz vezet. A normális megvilágítás a hosszirányú túlzott növekedést gátolja. A megnyúlásos növekedésért felelős hormonok egy csoportja ugyanis fény hatására lebomlik, ill. inaktiválódik a növényben (Amberger 1979).

Így pl. a fényszegénység következtében a kalászosok szalmája megdőlésre hajlamosabbá válik az északnyugat-európai államokban. Borús és csapadékos években hazánkban is kiválthatja ezt a jelenséget a túl sűrű vetés is, hiszen a tőszám megválasztásával szántóföldi viszonyok között a fénybőséget befolyásoljuk. Üveg-házi vagy fedett tenyészházi körülmények megnehezíthetik az egészséges növények felnevelését a kora tavaszi és őszi fényszegény periódusokban. Ezzel is magyarázható, hogy az említett kísérletek esetenként nehezen reprodukálhatók. A tenyészfedény kísérletek eredményeinek szabadföldi interpretálása részben szintén az eltérő fényviszonyok miatt is (más tényezőkön túlmenően) problematikus.

A növényanalízis segítséget nyújthat a tenyészfedény kísérletek eredményeinek interpretálásában. A növényi ellátottsági optimumokat gyakran nem szabadföldi kísérletekben állapítják meg, hanem tenyészfedény kísérletekben, homok- és vízkultúrában történik a kalibráció, abból kiindulva, hogy a növényi optimumok fajra adóttak. A fényhiányos viszonyok ugyan alacsonyabb tápelemkoncentrációkat eredményezhetnek a növényi szövetekben, de a tápelemarányok optimumai lehetővé teszik a megfelelő következtetések levonását. Saját vizsgálataink főbb adatait a 6.13 táblázatban foglaltuk össze (Pusztai és Kádár 1980).

Az NPK műtrágyázási tenyészfedény kísérletet mészlepedékes csernozjom talajon állítottuk be. Az 1.8 kg-os edényekben a kukorica két növedékét neveltük 4-6 leveles stádiumig. Kísérletünket 64 kezeléssel 2 ismétlésben, összesen 128 edénnyel végeztük, melyben mindhárom fő tápelem 4-4 ellátottsági szintje és az összes lehetséges kombináció szerepelt a kölcsönhatások elemzése céljából.

Ugyanezen a talajon szabadföldi kísérletet is végeztünk azonos kísérleti sémával és jelzőnövényvel, Mv-Sc 380 fajtával. A 6 leveles kukorica növényelemzési adatait összevetettük szántóföldön és a tenyészház viszonyai között.

Amint a 6.13 táblázatból kitűnik, hogy a tenyészedényben nevelt kukorica N % tartalma pl. még a N-nel bőségesen ellátott edényekben is alig haladja meg a 3 %-ot. Az irodalom, valamint saját vizsgálataink szerint is a 4-6 leveles korú kukorica optimális N tartalma 4-5 % körüli. A már említett szabadföldi kísérletünkben (Kádár és Elek 1977) ezeket a határértékeket e talajon és ugyanezen fajtával is elfogadhatónak találtuk. A tenyészedényben kapott alacsonyabb N % tehát nem nyújtott megbízható információt a növény N ellátottságáról. Kielégítően jelezte viszont mind a N, mind a P tápláltsági állapotot a N/P aránya.

6.13 táblázat: A N és P ellátás hatása a 6 leveles kukorica hozamára, N tartalmára és N/P arányára. Tenyészedény kísérlet meszes csernozjom talajon, 1978. (Pusztai és Kádár 1980)

P adag mg/kg talajra	N adag mg/kg talajra				SzD5%	Átlag
	0	480	960	1440		
Száranyag hozama, g/edény						
0	3.9	9.3	9.4	6.5		7.3
218	4.2	8.0	13.8	12.7	2.2	9.6
436	4.0	8.0	15.8	14.3		10.5
654	5.0	8.4	15.7	15.4		11.1
Átlag	4.3	8.4	13.7	12.2	1.1	9.7
N % tartalom a hajtásban						
0	0.89	1.76	2.51	2.91		2.02
218	1.25	1.81	2.75	3.15	0.29	2.24
436	1.09	1.67	2.83	3.24		2.21
654	1.32	2.09	3.08	3.20		2.42
Átlag	1.14	1.83	2.79	3.13	0.15	2.22
N/P arány a növényben						
0	6.0	14.2	20.1	18.9		14.8
218	3.2	6.1	10.9	12.9	2.0	8.3
436	2.4	4.5	9.2	10.8		6.7
654	2.6	4.7	8.4	10.3		6.5
Átlag	3.6	7.4	12.1	13.2	1.0	9.1

Az irodalomban közölt és általunk is kísérletesen ellenőrzött 10 körüli (8-12 közötti) N/P arány a fotoszintézis kiegyensúlyozott tápláltsági igényét tükrözi a fiatal kukorica növényben. A maximális szárazanyag hozamokat a tenyészedényekben is ott kaptuk, ahol a növények N/P aránya az említett optimum körül alakult. A 6.13 táblázat összevontan csak az NxP kísérlet 16-16 adatpárját közli. A 6.10 ábrán bemutatott gúla mind a 64 kezelés adatait reprezentálja, a hozam és az N/P arány kapcsolatát illusztrálva. Amint látható, e két elem aránya igen tág

határok között változhat a kukorica hajtásában, de az optimum szűk. A tenyészedények is alkalmasak tehát az optimumok megismerésére.

6.6 A növénymintavétel alapelvei és módszere

A növényvizsgálatokkal foglalkozó szakemberek megegyeznek abban, hogy az anyagcsere szempontjából aktív szövetek felelnek meg leginkább a diagnosztikai célú analízisre. Ezek elsősorban a levelek, mégpedig a fejlődésüket már befejezett, vagy éppen befejezett, de még el nem öregedett levelek és zöld növényi részek. A kifejlett levelekben a tápelemek koncentrációja kevésbé gyorsan változik mint a még fejlődésben lévő vagy már előregedő levelekben. Az egységnyi gyökérfelületre vetített tápelemfelvétel sebessége szintén a fiatal növényben a legnagyobb, ezért a hiánytünetek fellépése is ebben a korban pregnánsabban jelentkezhet.

A szárbainduláskori gyors megnyúlás, az intenzív növekedés a koncentráció hígulásával jár. A mintavétel szempontjából a kalászosoknál a bokrosodás vége és a virágzás kezdete a legkedvezőbb időszak, amikor is viszonylagos nyugalmi állapot uralkodik a növényben. Ez a viszonylagos nyugalmi állapot igen fontos az ontogenezisben. A bokrosodásban lévő búza, a 4-6 leveles kukorica stb. akkumulálja a tápelemeket a soron következő intenzív megnyúlás (szárazanyag-képződés) számára. A virágzás kezdetén az utód létrehozására készül a növény. Ezt követően gyors anyagáramlás indul meg a szembe a lassan elszáradó vegetatív részekből, mely egyaránt érinti az asszimilátákat és az ásványi elemeket.

Chapman (1964), Kenworthy (1967), Papp és Tamási (1979) és mások szerint állókultúrákban az intenzív hajtásnövekedést követő időszak a legkedvezőbb a mintázásra, mert a levelek tápelemtartalma ilyenkor hosszabb időn át állandó. A mintavétel időpontjának megválasztása tehát döntő jelentőségű a növényanalízis végrehajtása szempontjából. A korai mintavétel előnyéül szolgál gyakorlati szempontból, hogy a tápláltsági állapot esetleges hiányosságait még pótolhatjuk fejtrágyával, permittágyákkal. A pótlólag adagolt tápanyagokat a növény felhasználhatja a termés növelésére, vagy a termés minőségének javítására.

Egyetlen mintavétel gyakran nem kielégítő, esetenként különböző növényi részeket mintázunk és a mintavételeket a tenyészidő során megismételjük. Mindez a vizsgálatok céljától függ. Így pl. a talaj tápelemszolgáltatásának megítélésére elterjedt az alsó és a felső levelek (szőlő), vagy a levél és a levélnyel (főként a cukorrépa) egyidejű mintázása. Amennyiben ugyanis erősen lecsökken a mozgékony elemek mennyisége az alsó levelekben vagy a tartalékot nyújtó levélnyelben, a talaj tápanyagszolgáltatása nem megfelelő. Erre különösen Jones (1967), valamint Wilcox és Coffman (1972) vizsgálatai hívták fel a figyelmet a K esetében.

A növény mérete, alakja, a növényi részek egymáshoz viszonyított aránya állandóan változik a korról. A fiatal növények még főként levelekből állanak, ill. az egész földfeletti növényi rész zöld és fotoszintetizál, tehát a levél funkcióját tölti be. Ilyenek pl. a kalászosok a bokrosodásban, vagy a kapások 4-6 leveles korban stb. A tenyészidő közepén levélből és szárból tevődnek össze, míg éréskor

az előregező levél és a szár mellett jól elkülönülő reproduktív szerveket is magukban foglalnak. A növényi részek összetétele eltérő és változó a tenyészidő folyamán. Ezért a mintavételkor feljegyezzük a mintázott növényi részt, a növény élettani korát és a mintavétel naptári idejét is. A cukorrépa levél tápelemtartalmának változását a kor, ill. elhelyezkedés függvényében a 6.14 táblázatban mutatjuk be Izsáki (1981) nyomán.

6.14 táblázat: A cukorrépa levél makroelem tartalmának változása a levél korának, ill. elhelyezkedési zónájának függvényében Mintavétel: 1981. június közepe, Szarvas (Izsáki 1981)

Levél kora, ill. pozíciója	N	P	K	Ca	Mg	Na
	a szárazanyag %-ában					
Külső elhaló levél	1.81	0.14	5.46	2.27	1.44	7.29
Külső zöld levél	2.92	0.22	3.87	1.75	1.25	6.86
Középső kifejtett levél	3.75	0.32	3.64	1.24	0.94	5.48
Belső fiatal szívlevél	5.11	0.56	4.36	0.54	0.48	3.05
SzD5%	0.45	0.06	0.71	0.31	0.17	1.10

Izsáki Z. (1981): A cukorrépa tápanyagellátottságának meghatározása levélanálízissel. In: Jelentés az üzemi kísérletek 1981. évi eredményeiről. DATE Mezőgazdasági Főiskolai Kara, Szarvas

6.7 A növényi tápelemtartalom heterogenitása és a mintavétel

Ha már eldöntöttük, melyik növényi részt kell mintáznunk ahhoz, hogy a növény tápláltsági állapotát a legjobban jellemezhesük, az átlagminta képzésének módját kell meghatároznunk. Az egy növényen fejlődött azonos fekvésű és fejlettségű levelek tápelemtartalmában Steyn (1959) nem talált lényeges változékonyságot. Ugyanakkor az egymáshoz közeli fák azonos fekvésű, korú, morfológiailag homogén leveleinek összetétele lényegesen különbözött még azonos trágyázás és kezelés esetén is (Lilleland és Brown 1943, Thomas 1945, Steyn 1959).

Az irodalomban meglehetősen általánosan elfogadott az az álláspont, hogy még a szemmel láthatóan egyöntetű és egészséges állományban is az egyedi növények összetétele eltérő (egyedi variabilitás), tehát a mintázandó terület ill. állomány megbízható jellemzésére kellően reprezentatív átlagmintára van szükség. Az átlagminta anyagának összegyűjtésénél arra kell törekednünk, hogy minél több növényt mintázzunk, egy-egy növényről maximum 1-2 levelet véve.

Statisztikai mintavételi vizsgálatok szükségesek a növényfajok egyedi variabilitásának megítélésére. Állókultúrákban ahol a növényanalízis már korábban elterjedt, folytak ilyen vizsgálatok. A tapasztalatok szerint a gyengébb ültetvények heterogénebbek, több részmintára lehet szükség az állomány jellemzésére. Az egyes tápelemeket tekintve legkevésbé változékonynak a N és P mutatkozott, míg a K és Mg erősen ingadozott a levelekben. A Zn és a Cu közbülső helyet foglalt el. A hiányzóna közelében az elemek heterogenitása rendkívül nagy lett.

Mivel több elemet vizsgálunk, és előre általában nem ismerjük a növények ellátottságát az egyes elemekkel, ezért célszerű kellően reprezentatív átlagmintát szedni és a legheterogénabb viszonyokból kiindulni (Munson és Nelson 1973).

A homogén kávéültetvényeken Colonna (1970) megelégszik 40 fa mintázásával hektáronként. Random, azaz véletlenszerű mintavételnél 2-2 levelet gyűjtve fánként, összesen tehát 80 levélből képezve átlagmintát. A trágyázási kísérletben 20-25 növényt mintáztak meg 5-6 ismétlésben ahhoz, hogy a kezeléseket megfelelő átlagmintával jellemezhesse. Papp és Tamási (1979) szerint vállmagasságban a négy égtájnak megfelelően történjék a levélmintavétel a jól megvilágított korona-résről, azonos ágemeletről. Üzemi gyümölcsösben 3-5 ha-onként 15-20 növény mintázását ajánlja. A mintavételi egységről mintegy 80 levélből képzett átlagmintát nyerünk, amennyiben 1-1 fáról 4-4 levelet veszünk (a 4 égtájnak megfelelő 4 hajtásról).

Szántóföldi kultúráknál kevesebb adatot találunk a növények egyedi változékonyságára. Tájékoztató jelleggel bemutatjuk saját vizsgálatainkat, melyeket burgonyával savanyú nyírségi homokon (6.15 táblázat), valamint mákkal mezőföldi meszes csernozjomon (6.16 táblázat) végeztünk műtrágyázási tartamkísérletben. A vizsgálatok analitikai hibával is terheltek. A két növény heterogenitása egzakt módon nem vethető össze az eltérő termőhely és évek miatt. A várakozásnak megfelelően azonban megállapítható, hogy a növények heterogenitása a viszonylag homogén csernozjomon mérsékeltebb, mint a genetikailag igen heterogén nyírségi savanyú homokon.

Csernozjomon a P, Fe, Zn elemek, míg a homokon a K, Mg, Fe, Mn, Cu tartalom szórása számottevő. A szokásos mintaelőkészítés során a szennyeződés veszélye elsősorban a Fe esetén állhat fenn. Ha a Fe szórásától eltekintünk, a csernozjomon a P és a Zn variabilitását kell kiemelnünk. Utóbbi talajon ez a két vizsgált elem volt minimumban. Homokon a makroelem ellátottság alacsony, a mikroelemek felvehetősége ugyanakkor a talaj 4-5 % körüli pH értéke miatt magas. Nemcsak a hiányzóna közelében nőhet feltehetően tehát a tápelem-tartalom heterogenitása, hanem a túl magas ellátottságon is. Az is megfigyelhető, hogy mindkét termőhelyen az NPK műtrágyázott kezelésekben lecsökkent a Zn és Cu koncentráció a növényekben, a relatív szórásuk pedig megnőtt.

Az intenzív műtrágyázás növelheti a talaj eredeti heterogenitását és tápelem aránytalanságokat indukálhat a növényben. A "túl jó" ellátottság mindig valamely más elem "alacsony" ellátottságával jár együtt. A talaj heterogenitását a növény is tükrözi. A heterogenitás okai lehetnek természeti eredetűek mint a mikrodomborzat, eróziós foltok, vízzáró réteg eltérő mélységben való megjelenése stb., vagy másodlagosan az emberi tevékenységre visszavezethetők. Ilyenek a trágyázás, művelés, talajjavítás, növényápolás.

Elvileg a fejlettebb ill. a nagyobb testű és nagyobb gyökérrendszert kifejlesztő növények egyedi változékonysága kisebb lehet, mert jobban képesek ellensúlyozni a mikrokörnyezet heterogenitását, így a talajt is. Emlékeztetőül: a növény ásványi összetétele mindazon tényezők hatására változik, melyek a növekedésre és a fejlődésre hatnak. A talaj-növény rendszer dinamikus. Nemcsak a nedvesség és az aerációs viszonyok változhatnak állandóan a gyökér környe-

zetében a tenyészidő folyamán, hanem a talaj azon rétege is, amelyet a gyökér átjár és amelyből aktívan táplálkozik.

Szabadföldi kísérleteinkben a mintavételi egységnek tekintett parcellák nettó területéről homogén viszonyok között véletlenszerűen 15-20 növényből állítunk össze egy átlagmintát. Tapasztalataink szerint 3-5 ismétlést feltételezve az 50-100 növényegységből álló "kezelésátlag" kielégítően jellemezheti a kezelések közötti különbségeket mind a hozam, mind a tápelemtartalom tekintetében. Kalászosoknál vagy más sűrű vetésű növényeknél $2 \times 2 = 4$ fm vagy $4 \times 2 = 8$ fm (1 m^2) a mintavétel parcelláaként. Az említett 3-5 ismétlést figyelembe véve ez kezelésenként 2-4 m^2 növényi anyagot jelent, többszáz növényegységgel.

A mintavétel végrehajtására vonatkozó szabályokat Chapman (1964), Kenworthy (1969), Jones et al. (1971), Bergmann és Neubert (1976), Cerling (1978, 1990) összegezték. Az irodalomban általánosan elfogadott és javasolt mintavételi időre, növényi részre, valamint a minták előkészítésére és tárolására javasolható útmutatásokat korábban már összefoglaltuk (Elek és Kádár 1980). A MÉM NAK által kiadott "Álló kultúrák és szántóföldi növények mintavételi módszere" című kiadvány a mintavétel technikájára is kitér. A fontosabb gazdasági növényeink ajánlott mintavételére vonatkozó javaslatainkat a 6.17 táblázatban tüntettük fel.

A mintavételi egységek kijelöléséhez üzemekben célszerű az 1:10 000 léptékű térkép használata, melyen fel vannak tüntetve a táblák határai, jelei, területe és a művelési ágak. A növénymintavétel egysége azonos növény esetén a talajmintavétel egységével azonos, vagy annak egész számú többszöröse. A talajmintavételhez használt mintavételi kódtérképek itt is alkalmazhatók. Így azonosíthatók területileg a vizsgálati eredmények, összevethetők a TVG és az NVG adatok, mód nyílik az évek során történő változások figyelemmel kísérésére. Ültetvények mintázásánál, különösen, ha kordonos ültetvényt mintázunk, szükséges a telepítés tervrajzában ismerete is a mintavételi egységek kijelölésénél.

Ültetvényekben a javasolt maximális mintavételi egység 6 ha, a talajmintavételekhez hasonlóan. Minden egységről 2-2 átlagmintát veszünk párhuzamos mintavétellel, lehetőleg a két átló mentén. A mintavételi egységek kijelölésénél a fajta meghatározó. Ha egy fajta 6 ha-nál kisebb területet alkot, akkor az is mintavételi egységnek minősül. Amennyiben egy táblarész szemmel láthatóan homogén és ugyanazon fajta díszlik rajta, a mintavételi egységet 12 ha-ra is kiterjeszthetjük, különösen nagyobb összefüggő táblák esetén.

Üzemi körülmények között az átlagminta legalább 100 levelet foglaljon magában. Szőlőnél egy-egy töről egy levelet, mégpedig az első fürttel szemben levő ép, egészséges levéllemez szedjük le nyél nélkül. Gyümölcsösben egy fáról 2-2 levelet szedünk a fa két sorközi oldaláról, a koronaszint alsó harmadából. Mindig a korona felületét mintázzuk (fénylevelek) a termőhajtás középső részéről.

Vegyes állományú ültetvény esetén mindig a főhajtásról gyűjtünk be anyagot, elkerülve pl. a porzófajtákat. A keresztben át nem járható kordonos ültetvényekben a valódi átlós mintavétel helyett a talajmintavételi gyakorlatban elfogadott mintavételt alkalmazzuk. A bejárando hasznos mintavételi út hossza megközelítően feleljen meg a két átló hosszának.

6.15 táblázat: A burgonya növények egyedi variabilitása a virágzás végén. Föld feletti hajtás, Nyírlugos, 1979. VII. 18. (Savanyú barna erdő homoktalaj)

Sor- szám	Növénykék súlya, g	N	K	Ca %	Mg	P	Fe	Mn	Zn	Cu
Trágyázatlan (AL-P ₂ O ₅ =40-70; AL-K ₂ O=60-90 ppm)										
1.	37.1	2.72	4.32	1.38	0.25	0.20	845	575	46	96
2.	22.6	2.76	4.14	1.68	0.26	0.25	595	420	64	98
3.	9.1	3.78	6.11	1.15	0.21	0.33	325	420	64	29
4.	7.7	3.31	5.37	1.26	0.34	0.21	1040	680	52	165
5.	36.5	3.52	6.24	1.43	0.21	0.24	620	1300	60	130
6.	17.5	2.27	2.75	1.52	0.54	0.18	1340	315	54	113
7.	7.8	2.18	2.87	1.23	0.35	0.20	1040	185	40	60
8.	22.0	2.32	4.51	1.51	0.20	0.20	695	90	42	54
9.	12.2	2.07	4.01	0.94	0.20	0.20	915	190	40	54
10.	7.4	2.09	3.21	1.77	0.32	0.18	870	200	44	113
Átlag	18.0	2.70	4.35	1.39	0.29	0.22	825	476	51	91
CV %	63.6	23.4	28.6	18.0	36.8	20.6	34.4	78.6	18.9	45.6
Trágyázott (AL-P ₂ O ₅ =80-150; AL-K ₂ O=100-150 ppm)										
1.	17.2	3.14	3.70	1.43	0.41	0.21	805	900	52	113
2.	58.9	3.00	3.58	1.43	0.36	0.21	805	570	51	150
3.	6.6	3.50	5.59	1.58	0.14	0.23	1270	820	34	67
4.	38.9	3.64	4.48	1.38	0.41	0.23	730	1060	28	100
5.	13.5	3.96	5.43	1.31	0.26	0.21	620	1550	51	40
6.	84.7	3.42	3.74	0.88	0.48	0.27	900	570	30	185
7.	28.2	2.71	4.72	1.89	0.31	0.19	730	520	34	42
8.	37.1	2.80	5.53	1.62	0.14	0.22	630	190	26	71
9.	25.3	2.95	4.54	1.80	0.22	0.21	595	290	30	46
10.	34.9	3.34	3.95	2.08	0.41	0.24	695	185	31	25
Átlag	34.5	3.25	4.63	1.54	0.31	0.22	781	666	37	84
CV %	66.8	12.2	17.3	21.9	38.2	9.9	15.2	64.4	28.3	62,5

6.16 táblázat: A mák növények egyedi variabilitása betakarításkor. Szár, Meszes csernozjom, Nagyhörcsök, 1983.

Sor- szám	Növénykék súlya, g	N	K	Ca	Mg	P	Fe	Mn	Zn	Cu
ppm										
Trágyázatlan (AL-P ₂ O ₅ =90; AL-K ₂ O=160 ppm)										
1.	3.5	1.25	2.62	1.06	0.26	0.08	150	27	15	6
2.	7.2	1.44	3.40	1.04	0.26	0.06	477	40	12	8
3.	1.9	1.52	3.19	0.97	0.29	0.06	305	37	16	7
4.	1.5	1.61	2.12	0.99	0.23	0.09	262	46	16	7
5.	2.7	1.54	3.26	0.91	0.23	0.10	108	27	13	6
6.	1.1	1.59	2.79	1.12	0.29	0.10	434	51	24	8
7.	1.5	1.58	3.40	0.91	0.18	0.07	159	38	15	6
8.	2.5	1.13	2.92	1.17	0.24	0.05	137	26	11	5
9.	2.8	1.96	3.12	0.82	0.20	0.08	128	24	14	6
10.	2.4	1.19	2.37	1.10	0.27	0.06	221	32	12	6
Átlag	2.7	1.48	2.92	1.01	0.25	0.08	238	35	15	7
CV %	64.0	16.5	15.1	10.8	14.8	23.7	55.0	26.3	24.8	15.0
Trágyázott (AL-P ₂ O ₅ = 459; AL-K ₂ O= 291 ppm)										
1.	8.9	1.30	4.31	1.13	0.15	0.26	163	34	5	6
2.	13.9	1.52	5.42	1.07	0.15	0.20	112	28	6	5
3.	14.4	1.54	4.79	0.92	0.15	0.07	66	23	4	4
4.	1.9	1.99	4.72	1.12	0.17	0.16	85	35	5	4
5.	18.6	1.46	4.79	1.03	0.15	0.13	105	28	9	4
6.	5.6	2.16	5.21	0.93	0.15	0.19	47	27	8	4
7.	6.4	1.42	4.03	1.23	0.20	0.14	79	29	5	6
8.	12.1	1.62	4.65	0.93	0.18	1.10	128	30	4	5
9.	11.2	1.32	4.31	1.11	0.21	0.11	68	29	4	4
10.	10.3	1.05	3.96	0.95	0.18	1.10	68	27	4	5
Átlag	1.4	1.54	4.62	1.04	0.17	0.15	92	29	5	5
CV %	47.0	21.2	10.3	10.3	13.5	39.3	37.9	11.9	32.9	17.5

6.17 táblázat: Szántóföldi növények ajánlott mintavétele (mintavételi egység 12 ha, esetenként ennek 2-4-szerese lehet). Átlós párhuzamos mintavétel legalább 50 növény vagy 100 növényi rész, ill. gabonaféléknél és sűrűn vetett kultúráknál 16x0.5 fm

Növényfaj	Fenofázis megjelölése	Kb. naptári ideje	Mintavétel helye, növényi rész
Kalászos gabonák	I. Bokrosodás vége	25-30 cm magas	Föld feletti teljes növény
	II. Kalászhányáskor	Fajtától függően	Föld feletti teljes növény
	III. Virágzás előtt	Fajtától függően	Kalász alatti zászlóslevél
Kukorica	I. 4-6 leveles kor	Május 20 - június 10.	Föld feletti teljes növény
	II. Címerhányáskor	Június 15 - július 15.	Alsó cső alatti levél
Cukorrépa	I. Sorok záródásakor	Június 15 - július 15.	Éppen kifejtett levéllemez
	II. Lombváltás idején	Augusztus 1-30.	Éppen kifejtett levéllemez
Burgonya	I. Virágzás kezdetén	Június 15-30.	Felső éppen kifejtett levélzet
	II. Virágzás idején	Július 15-30.	Felső éppen kifejtett levélzet
Repce, mustár és len, mák, kender	I. Szárbaszökés előtt	25-30 cm magas	Föld feletti teljes növény
	II. Virágzás kezdetén	Fajtától függően	Felső éppen kifejtett levél
Szója, borsó, bab	I. Szárbaszökés előtt	25-30 cm magas	Föld feletti teljes növény
	II. Virágzás kezdetén	Fajtától függően	Felső éppen kifejtett levél
Lucerna, herefélék	I. Virágzás előtt	Fajtától függően	Föld feletti növény v. felső 1/3 rész
Rétek, kaszálók	I. Kaszálások előtt	Egész évben	Föld feletti növény v. felső 1/3 rész
Napraforgó	I. 4-6 leveles kor	Május 25 - június 15.	Föld feletti teljes növény
	II. Virágzás kezdetén	Június 25 - július 15.	Tányér alatti kifejtett levél
Paprika, paradicsom	Virágzás kezdete	Fajtától függően	Felső kifejtett (3. v. 4.) levél
Leveles zöldségek	Tenyészdő közepén	Fajtától függően	Teljes kifejtett levelek
Gyökérzöldségek	Gyökérképződés előtt	Fajtától függően	Középső levelek
Dinnye, uborka	Virágzás végén	Fajtától függően	Főhajtás érett alsó levelei

Közel négyzet alakú táblánál egyenletesen mintázzuk a sorokat. Kerülni kell a szennyeződéseknek, áthordásoknak kitett táblaszegélyek mintázását. Fontosabb belső utaktól, dűlőktől 15-20 m szegélyt elhagyva mintázunk, hogy kellően reprezentatív átlagmintákat nyerjünk.

Szántóföldi nagyobb táblákon a mintavétel alapegysége általában 12 ha. Amennyiben a tábla kellően egynemű és sík, az elővetemény és az agrotechnika azonos volt, a mintavételi egység növelhető, de ne haladja meg az alapegység 3-4-szeresét. Az elővetemény, fajta, trágyázás stb. a mintavétel egységét behatárolja. A mintavételi egységről 2 db átlagmintát veszünk az átlók mentén haladva. Az átlagmintákat külön kezeljük, melyek legalább 50-100 növényt vagy növényi részt (levél, levélnyél) képeznek. Kalászosoknál a mintavételi egység átlóin végighaladva legalább 16 helyről vegyünk mintát. Egy 0.5 m hosszúságú léccel a léccel felett vágjuk le a növényt. Így gabona sortávolság esetén (12.5 cm) $16 \times 0.5 \text{ m} = 8 \text{ m}$, azaz 1 m^2 növényi anyaghoz jutunk.

Nincs egyértelmű állásfoglalás az irodalomban arra vonatkozóan, hogy mossuk-e a begyűjtött mintát vagy sem, illetve mivel mossuk szükség esetén? Amennyiben nem feltétlenül szükséges, kerülni javasolják a mosást. Megelégedhetünk a por letörlésével, a szemmel látható szennyeződések eltávolításával. Amennyiben ugyanis a mosás túlmegy a talajrészecskék por és az esetleges permetlé eltávolításán, az eredmények meghamisítását eredményezheti. Csak a friss minták moshatók, mert az elszáradt vagy elhalt növényi szövetekből bizonyos tápelemek gyorsan kimosódhatnak. Aldrich (1973) és Cerling (1978) ezért javasolják a nagyobb esőzéseket követően 1-2 napig szüneteltetni a mintavételt.

Hogyan tároljuk a mintákat? A tárolás a mintavétel céljától is függ. A konzerválás eredeti friss állapotban esetenként szükséges lehet. Általános azonban a szárítás, mely felfüggeszti az élettani folyamatokat. A begyűjtött élő növényben kémiai változások indulnak meg. Kíváncsú tehát minden esetben minimálisra csökkenteni a sejtek légzését, a minták bepenészesedését vagy a bakteriális bomlást. E folyamatok csökkentik a szárazanyag súlyát és így megváltoztatják a mérendő elemek koncentrációját. A begyűjtött növényi anyagot az erős napfénytől, hőségtől, levegőtleniségtől óvni kell. Egy-egy tábla megmintázása után célszerű a mintákat jól szellőző tálcákra helyezni, tiszta fedett helyen tárolva. Gondoskodni kell a minták mielőbbi laboratóriumba szállításáról, ahol szakszerű kezeléssük (szárítás, darálás) gondoskodnak. Amennyiben nincs lehetőség a mintákat még azon a napon elszállítani, úgy 0°C körüli hőmérsékleten hűtőkamrákban tárolhatók.

Mikor ne mintázzunk? Erre a kérdésre a válasz az alábbi lehet:

- Hosszan tartó esőzések, fagyok, szárazság után közvetlenül;
 - Mechanikai vagy rovar okozta károsodást mutató növényt;
 - Nem jellemző beteg foltokat, árnyékos állományt;
 - Elszáradt, már nem élő növényi részeket;
 - Túl fiatal vagy túlságosan előregeredő növényi részeket,
- hacsak nem a fent említett problémák tisztázása a mintavétel célja.

A mintavétel körülményeit azonban mindenképpen fel kell jegyezni. Különösen a fejlődési stádium ismerete fontos, mert hiányában nehezen, vagy egyáltalán nem értelmezhetők a növényvizsgálatok eredményei. Hasznos lehet a növény magasságának, a levelek számának feljegyzése, melyek iránymutató jelleggel bírnak. Szükség van a minta súlyának ismeretére. Helyes ha a friss szedéskori súlyt és a darálás előtt légszáraz súlyokat egyaránt megállapítjuk.

A mintavételnél, a minták tárolásánál és előkészítésénél egyaránt kerülni kell a szennyező forrásokat. A mintavétel eszköze a rozsdamentes olló, kés, fűnyíró olló stb. lehet. A mintákat tiszta (új) papír vagy etamin zacskókba helyezzük és célszerű hálóval is védeni a zacskót. A zacskókba mintazonosító jegyet teszünk, amely tartalmazza a gazdaság és a tábla nevét; a növényfajta és a növényi szerv megjelölését; fejlődési stádiumot; átlagos növénymagasságot és a mintavétel idejére vonatkozó adatokat.

6.8 A növényvizsgálatra alapozott trágyázási szaktanácsadásról

Mindazon általános alapelvek érvényesek, melyeket a talajvizsgálatra épülő szaktanácsadás kapcsán ismertettünk. A növény- és talajvizsgálatok az egységes szaktanácsadás részeit képezik. Szervezetileg sem különül el ez a tevékenység, hiszen ugyanazon laboratóriumok végzik a vizsgálatokat és ugyanazok a szaktanácsadó intézmények adják az ajánlásokat. A hatékony szaktanácsadást a háttérinformáció, az alapozó kutatások szintje behatárolja. Ez a tevékenység nem lehet eredményesebb és megbízhatóbb ugyanakkor a gyakorlatban, mint amilyen a mintavétel, az analízis és az adatok értelmezése volt. A szaktanácsadás láncszemei egymásra épülnek és itt is a minimum törvénye érvényesül.

Az értelmezés (tágabban az egész szaktanácsadás) megbízhatósága az említett háttérkutatás minőségétől függ. Általában itt is elfogadott, hogy a szaktanácsadás rendszerében a leggyengébb láncszem a mintavétel, valamint az adatok értelmezése terén a hiányos kalibráltság. Végso soron azonban a szaktanácsadó helyismerete és tapasztalata dönt. A táblára adaptált szaktanácsot csak a helyismerettel rendelkező szaktanácsadó adhat, aki döntően saját komputerére, azaz agyára támaszkodhat. A számítógépekbe nem lehet betáplálni azt a sok-sok háttérinformációt, amelyet figyelembe veszünk a szaktanácsadásban. Bár a számítógépes programok kétségtelenül leegyszerűsítik és sok esetben megkönnyítik ezt a munkát, mechanikussá téve a szaktanácsadás matematikai nyelvre lefordított műveleteinek elvégzését.

A növényvizsgálatok pontosságát és megbízhatóságát a talajvizsgálatokhoz hasonlóan kevésbé tudjuk növelni, ha ugyanazon a mintán a vizsgálatokat esetleg többször is megismétljük. Az sem járhat érdemi előnnyel, ha a részminták számát pl. 100 fölé emeljük. Amennyiben precízebb becslésre törekszünk, célszerűbb több átlagmintát venni a jellemezni kívánt területről egy átlagminta helyett. Így megítélhető a mintavétel hibája és jelentősen csökkenthető a hibaszórás. A hazai szaktanácsadásban ezért javasoltuk a párhuzamos mintavétel bevezetését (Elek és Kádár 1980).

A párhuzamos mintavétel különösen a kisebb táblák mintázásakor fontos. Hiszen itt aránylag kevés mintát gyűjtünk, és eltérő elemzési eredmények esetén nehezzé válik az ellátottság megítélése. A párhuzamos mintavételkor célszerű, ha egy-egy mintavételi területen két mintavevő halad a talajvizsgálatoknál ismertett módon. A mintavétel magas fokú szakismeretet igényel, a szaktanácsadó irányításával történhet. Szem előtt kell tartani, hogy a mintavétel során elkövetett hibák eredménye a használhatatlan vagy hamis információ. A drága növényanalízis és a rossz szaktanácsadás pedig katasztrofális következményekkel járhat az üzemre.

Sajnos számos növényfajra, tápelemre, fejlődési stádiumra (növényi részre) hiányoznak a megbízható határértékek. Óriási méretű részletes kutatási tevékenységre van szükség. Márpedig ezeket a kutatási eredményeket a gyakorlat sürgősen igényli. A kalibrációs kísérletek azt jelentik, hogy sok éven át számos növényt kell majd a szabadföldi trágyázási tartamkísérletekben tesztelni. Ezek a kutatások sok türelmet, időt, aprólékos kísérletes munkát és pénzt igényelnek. Eredményeik azonban folyamatosan jelentkeznek a szaktanácsadásban, nagyságrendekkel térítve vissza a ráfordításokat. A szaktanácsadást meglapozó kutatások ugyanis a leghatékonyabb tőkebefektetések közé tartoznak az egész világon.

Bár a növényanalitikai kutatások eredményei univerzálisabbnak tűnnek mint pl. a TVG határértékek, mégsem nélkülözhetik a hazai kutatásokat. Erre utal az elmúlt mintegy két évtized tapasztalata is. A növényanalízis eredményei csak a növényi növekedés, a növénytermesztési környezet függvényében értelmezhetők. Nem vihetők át kritikátlanul az irodalmi eredmények, hazai kísérletekben ellenőrizni, értelmezni és adaptálni kell azokat. Ez önálló kutatási tevékenységet feltételez. Számos esetben azonban hiányoznak a számunkra szükséges adatok és kísérletek.

A hiány- vagy túlsúlytünetek azonosítása céljából az egészségesnek tűnő állományt is megmintázzuk és az analízis eredményeit összevetjük a beteg foltok adataival. A döntő azonban a standard optimális összetétel, amelyet az irodalom táblázatos formában növényfajra, növényi részre és fejlettségi stádiumra közöl. Az általunk is ellenőrzött és javasolt határkoncentrációkat, valamint a fontosabb arányokat búzára a 6.18, kukoricára a 6.19, burgonyára a 6.20, cukorrépára pedig a 6.21 és 6.22 táblázatban foglaltuk össze.

6.9 A növényanalízis és a környezetvédelem, jövőbeni feladatok

A növényelemzés módszere ma még a kezdeti fejlődés stádiumában van valójában. Az adatok értelmezése nemcsak azért nehéz, mert a határértékeket nem kellően ismerjük. Nem tökéletesek még a mintavételi eljárásaink, melyeket a növény morfológiai jellemzőihez kell majd precízebben illeszteni. Pontosítani kell, hogy mely elemeket, mely növényi részekben, mikor vizsgáljunk? Melyek az ideális indikátor szervek, tápelemfrakciók? Ma még általánosan elterjedt az összes növényi koncentráció meghatározása, amely magában foglalja a már szervesen beépült és a még nem asszimilált és oldható állapotban a növényi nedvekben található elemeket.

6.18 táblázat: Az őszi búza tápelem-ellátottságának megítélése a bokrosodáskori tápelemtartalom és tápelemarány alapján Irodalmi összeállítás (Kádár és Lásztity 1981)

Tápelem	Alacsony	Kielégítő	Magas	Szerző (év)
N %	3.0-4.0	4.0-5.0	5.0 felett	Kádár-Krámer (1978)
P %	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5 felett	Kádár-Krámer (1978)
K %	2.5-3.5	3.5-4.5	4.5 felett	Kádár-Krámer (1978)
Ca %	0.5 alatt	0.5-1.0	1.0 felett	Bergmann-Neubert (1976)
Mg %	0.2 alatt	0.2-0.4	0.4 felett	Bergmann-Neubert (1976)
Fe ppm	20 alatt	20-200	200 felett	Castenson (1971)*
Mn ppm	33 alatt	34-65	65 felett	Neubert et al. (1970)
Zn ppm	29 alatt	29-40	40 felett	Neubert et al. (1970)
Cu ppm	5 alatt	5-10	10 felett	Neubert et al. (1970)
B ppm	5 alatt	5-30	31-100	Finck (1968)
Mo ppm	0.7 alatt	0.7-1.5	1.5 felett	Castenson (1971)*
N/K	0.8-1.0	1.0-1.5	1.5 felett	Kádár-Krámer (1978)
N/P	7.5-9.0	9.0-12.0	12.0 felett	Kádár-Krámer (1978)
N/Ca	4.5 alatt	4.5-8.0	8.0 felett	Számított**
N/Mg	11.0 alatt	11.0-20.0	20.0 felett	Számított**
N/Zn	1100 alatt	1100-1400	1400 felett	Számított**
N/Cu	4500 alatt	4500-8000	8000 felett	Számított**
N/B	1500 alatt	1500-8000	8000 felett	Számított**
N/Mo	30.000 alatt	30.000-60.000	60.000 felett	Számított**
P/Ca	0.5 alatt	0.5-1.0	1.0 felett	Számított**
P/Mg	1.0 alatt	1.0-2.0	2.0 felett	Számított**
P/Fe	25 alatt	25-200	200 felett	Számított**
P/Mn	80 alatt	80-120	120 felett	Számított**
P/ZN	100 alatt	100-150	150 felett	Számított**
P/Cu	500 alatt	500-800	800 felett	Számított**
P/B	170 alatt	170-800	800 felett	Számított**
P/Mo	2500 alatt	2500-5000	5000 felett	Számított**

* Kalászhányáskor a felső levelekben **A tápelem-koncentráció alapján számítva

A gyökértől a csúcsig a növényi részek analízise mutathatja az elemek mozgását és a táplálkozás körülményeit. A mobilis elemek a növény alsóbb részeiben elfogyhatnak, mely diagnosztikai értelmet nyerhet. Hasonlóképpen a beépült és a még be nem épült frakciók sorsának figyelemmel kísérése fontos lehet. Az utóbbi években kiterjedt kutatások indultak pl. az egészségügyi szempontból is kiemelten fontos NO₃ mozgásának feltárására a talaj-növény-állat táplálékláncban. Az újabb élettani-biokémiai kutatások eredményei új távlatokat nyitnak a növénytáplálásban, mélyebben megérthetjük a növényben lejátszódó folyamatokat és irányíthatjuk azokat. Lassan tisztázódik a fény, hőmérséklet,

nedvesség, tőszám, trágyázás stb. hatásmechanizmusa a növényi beltartalomra, a tápanyagok asszimilációjára. A klímakamrákban végzett egzakt, szabályozható tényezőkkel beállított kísérletek elengedhetetlenekké válnak.

Különösen a közvetlen emberi fogyasztásra szolgáló zöldségfélék, amelyek vegetatív részeikben képesek nagy mennyiségben felhalmozni a káros nitrátokat és toxikus nehézfémeket, folyamatos ellenőrzése feltételezi a növényanalízis kiterjesztését. A termelőtől pl. gyakran nem veszi át a konzervgyár a gyermektápszer alapanyagául szolgáló sárgarépat. A termelő és a termelés igényli és feltételezi tehát az irányított ásványi táplálást. A szigorú nemzetközi szabványok előírják a minőségi követelményeket, amelyek nélkül a forgalom, a kereskedelem megbénul, az export visszaesik. Ezeknek a nagy kihívásoknak mezőgazdaságunk csak a hatékony hazai kutatás segítségével felelhet meg.

6.19 táblázat: A kukorica tápelem ellátottságának megítélése a címerhányáskori csó alatti levél tápelemtartalma és aránya alapján. Irodalmi összeállítás

Tápelem	Alacsony	Kielégítő	Magas	Szerző (év)
N %	2.0-2.5	2.5-3.5	3.5 felett	Jones (1967)
P %	0.20-0.25	0.25-0.35	0.35 felett	Barber et al. (1968)
K %	1.0-0.5	1.5-2.5	2.5 felett	Szemes-Lásztity (1978)
Ca %	0.10-0.25	0.25-0.80	0.80 felett	Jones (1973)
Mg %	0.10-0.20	0.20-0.60	0.60 felett	Jones (1967)
Fe ppm	10-50	50-250	250 felett	Nelson (1972)
Mn ppm	10-20	20-200	200 felett	Chapman (1966)
Zn ppm	15-25	25-100	100 felett	Bergmann-Neubert (1976)
Cu ppm	3-5	5-20	20 felett	Jones (1967)
B ppm	2-5	5-40	40 felett	Chapman (1966)
N/P	5-9	9-12	12 felett	Számított*
K/P	4-6	6-9	9 felett	Számított*
N/K	1.0-1.3	1.3-1.7	1.7 felett	Számított*
K/Ca	1.5-3.0	3.0-6.0	6.0 felett	Számított*
K/Mg	2.0-4.0	4.0-8.0	8.0 felett	Számított*
Mn/Zn	1.0 alatt	1.0-8.0	8.0 felett	Számított*
P/Fe	20 alatt	20-100	100 felett	Számított*
P/Mn	20 alatt	20-120	120 felett	Számított*
P/Zn20-50	50-150	150 felett	Számított*	
P/Cu	100-200	200-500	500 felett	Számított*
N/Cu	1500 alatt	1500-5000	5000 felett	Számított*
K/B	600 alatt	600-3000	3000 felett	Számított*

* A tápelem koncentrációk alapján számított és részben saját vizsgálataink alapján becsült optimum.

6.20 táblázat: A burgonya tápláltsági állapotának megítélése a virágzáskori levél tápelemtartalma alapján (In: Bergmann és Neubert 1976)

Tápelem		Alacsony	Kielégítő	Szerző (év)	Megjegyzés
N	%	4.1-5.1	5.2-5.9	Anonym (1973)	Kelés után 50 nap
N	%	3.4-4.6	4.7-5.3	Anonym (1973)	Kelés után 65 nap
N	%	2.5-4.0	4.1-4.8	Anonym (1973)	Kelés után 80 nap
P	%	0.30 alatt	0.31-0.42	Anonym (1972)	Kelés után 50-60 nap
P	%	0.25 alatt	0.25-0.35	Anonym (1973)	Kelés után 70-80 nap
K	%	3.0 alatt	3.1-4.5	Anonym (1972)	Kelés után 50-60 nap
K	%	2.5 alatt	2.5-3.8	Anonym (1972)	Kelés után 70-80 nap
Ca	%	0.7 alatt	0.7-3.0	Bergmann (1976)	Kelés után 70-80 nap
Mg	%	0.15-0.20	0.21-0.80	Neubert et al.(1970)	Kelés után 75 nap
Mg	%	0.15-0.20	0.20-1.0	Wrazidlo (1973)	Virágzásban
Fe	ppm	65 alatt	65-300	Castenson (1971)	Virágzás kezdete
Mn	ppm	80 alatt	80-250	Neubert et al.(1970)	Virágzás kezdete
Mn	ppm	10-50	51-300	Neubert et al.(1970)	Vetés után 75 nap
Zn	ppm	15-29	30-90	Gruber (1969)	Virágzás kezdete
Zn	ppm	15-20	21-90	Neubert et al.(1970)	Kelés után 75 nap
Cu	ppm	5 alatt	5-30	Castenson (1971)	Virágzás kezdete
Cu	ppm	9 alatt	9-11	Dudarev (1970)	Virágzásban
Cu	ppm	8-10	11-20	Neubert et al.(1970)	Kelés után 75 nap
B	ppm	15-20	21-50	Bergmann (1976)	Kelés után 75 nap

Az "NPK" analízisek ideje remélhetően elmúlt. A növényelemzésre épülő szaktanácsadás, valamint a kutatás ma már nemcsak a fontosabb 10-12 esszenciális makro- és mikroelemet kénytelen figyelemmel kísérni a növényben, hanem a környezetvédelmi szempontból előtérbe kerülő újabb és újabb elemeket, toxikus nehézfémeket mint pl. az As, Be, Bi, Cd, Cr, Co, F, Hg, Pb, Se, Sr stb. Új kihívást jelent a genetikai haladás. A genetikai áttörés, ahogy az elmúlt évtizedekben, úgy a jövőben is csak az ásványi táplálással együtt valósítható majd meg. Az új minőség, új terméshatárok elérése minden bizonnyal feltételezi majd az eddigi növénytáplálkozási alapelveink és módszereink újrafogalmazását is. Igazán lelkesítő feladat lehet pl. a mai csúcstermések, a 10 t/ha feletti gabonatermések ter-

méskorlátozó minimumtényezőinek a feltárása. A növényanalízis e téren kulcsszerpet játszhat.

6.21 táblázat: A cukorrépa tápláltsági állapotának megítélése a június vége - július eleji középső levéllemez tápelemtartalma és aránya alapján a maximális cukorhozam eléréséhez. A tápelemkoncentrációk alapján számított és részben saját vizsgálataink alapján becsült optimumok

Tápelem	Alacsony	Kielégítő	Magas
Tápelemtartalom alapján			
N %	2.5-3.5	3.5-4.5	4.5 felett
P %	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4 felett
K %	2.0-4.0	4.0-5.0	5.0 felett
Ca %	0.1-0.5	0.5-2.0	2.0 felett
Mg %	0.1-0.2	0.2-1.0	1.0 felett
Fe ppm	50-60	60-250	250 felett
Mn ppm	20-50	50-400	400 felett
B ppm	20-30	30-200	200 felett
Zn ppm	5-20	20-80	80 felett
Cu ppm	5-10	10-15	15 felett
Fontosabb tápelemarányok alapján			
N/K	1.0 alatt	1.0 - 1.5	1.5 felett
N/P	10 alatt	10 - 15	15 felett
N/Ca	2 alatt	2 - 7	7 felett
N/Mg	5 alatt	5 - 15	15 felett
N/Fe	200 alatt	200 - 600	600 felett
N/Mn	100 alatt	100 - 700	700 felett
N/B	200 alatt	200 - 1200	1200 felett
N/Zn	500 alatt	500 - 1500	1500 felett
N/Cu	2000 alatt	2000 - 4500	4500 felett
K/P	10 alatt	10 - 15	15 felett
K/Ca	2 alatt	2 - 8	8 felett
K/Mg	5 alatt	5 - 20	20 felett
K/Fe	200 alatt	200 - 700	700 felett
K/Mn	100 alatt	100 - 800	800 felett
K/B	250 alatt	250 - 1300	1300 felett
K/Zn	600 alatt	600 - 2000	2000 felett
K/Cu	3000 alatt	3000 - 5000	5000 felett
P/Ca	0.2 alatt	0.2 - 0.8	0.8 felett
P/Mg	0.3 alatt	0.3 - 1.0	1.0 felett
P/Fe	15 alatt	15 - 50	50 felett
P/Mn	10 alatt	10 - 60	60 felett
P/B	20 alatt	20 - 100	100 felett
P/Zn	50 alatt	50 - 200	200 felett
P/Cu	200 alatt	200 - 400	400 felett

6.22 táblázat: A cukorrépa tápláltsági állapotának megítélése a középső levéllemez tápelemtartalma és aránya alapján (Mészlepedékes csernozjom, saját vizsgálat, 1981)

Tápelem	Dátum	Alacsony	Kielégítő	Magas
Maximális gyökér- ill. cukortermésre megadva				
N %	Jún. vége	2.5-3.5	3.5-4.5	4.5 felett
	Aug. eleje	1.5-2.5	2.5-3.5	3.5 felett
P %	Jún. vége	0.20-0.30	0.30-0.40	0.40 felett
	Aug. eleje	0.10-0.20	0.20-0.30	0.30 felett
K %	Jún. vége	2.0-4.0	4.0-5.0	5.0 felett
	Aug. eleje	2.0-3.0	3.0-4.0	4.0 felett
Tápelemarányok alapján				
N/P	Jún. vége	6-10	10-12	12 felett
	Aug. eleje	8-12	12-14	14 felett
K/P	Jún. vége	6-10	10-14	14 felett
	Aug. eleje	8-12	12-15	15 felett
N/K	Jún. vége	0.4-0.8	0.8-1.2	1.2 felett
	Aug. eleje	0.4-0.8	0.8-1.2	1.2 felett
Maximális lombtermésre megadva				
N %	Jún. vége	3.5-4.5	5.5-5.5	5.5 felett
	Aug. eleje	2.5-3.5	3.5-4.5	4.5 felett
P %	Jún. vége	0.20-0.30	0.30-0.40	0.40 felett
	Aug. eleje	0.10-0.20	0.20-0.30	0.30 felett
K %	Jún. vége	3.0-4.0	4.0-5.0	5.0 felett
	Aug. eleje	1.5-2.5	2.5-3.5	3.5 felett
Arányok alapján				
N/P	Jún. vége	8-12	12-15	15 felett
	Aug. eleje	10-15	15.20	20 felett
K/P	Jún. vége	6-10	10-14	14 felett
	Aug. eleje	8-12	12-14	14 felett
N/K	Jún. vége	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5 felett
	Aug. eleje	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5 felett

Külön kutatási területet jelenthet a tápláltság és a növényi betegségek ok-okozati összefüggésének feltárása. A tápelemtartalmakat vizsgálva csak egy tényezőt veszünk figyelembe szigorúan véve, amely ugyanakkor a körülmények összességének hatását tükrözi, azok eredője. Amennyiben a tápláltság és a beteg-

ségek előfordulásának gyakorisága közötti kapcsolatok számszerűsíthetők, a növényanalízis adatai a betegségek fellépésének valószínűségét is előre jelezhetik annak ellenére, hogy a betegségek fellépése döntően az időjárás függvénye. Erre a korábbi fejezetekben is utaltunk a 4.14 táblázat kapcsán. Ezekben a kutatásokban a növényanalízis módszere alapvető segítséget nyújthat.

A növényeket általában nem azért termesztjük vagy trágyázzuk, hogy sok ásványi elemet tartalmazzanak, hanem szerves összetevőikért. Tehát energia és fehérje, vitamin stb. tartalmukért, melyek az állati és emberi táplálkozásban alapvetőek. Sajnos, az agrokémia ill. növénytáplálás utóbbi fél évszázados fejlődése hazánkban is azt eredményezte, hogy az ásványi elemekkel foglalkozó kutatás elszakadt, vagy eltávolodott a szerves összetevők vizsgálatától. A kutatók vagy kutatóhelyek rendszeresen nem kísérik figyelemmel a növény minőségének változását trágyázás hatására. Gyakran hiányzik pl. a cukrok vagy a fontosabb szénhidrátok, az aminosavak, fehérjék, vitaminok, ill. a takarmányértéket jellemző mutatók elemzése és az ásványi tápelemkoncentrációkkal való kapcsolatának megállapítása.

Külön növényanalitikai optimumokat kell megállapítani esetenként a termés minőségére ugyanis. Nemcsak a mennyiséget, hanem a minőséget is előre kell jeleznie a növényanalízisnek. Erre utal a cukorrépa példáján a 6.22 táblázat. Szinte hiányoznak ma még az egzakt takarmányozási kísérletek, melyeket a szabadföldi trágyázási tartamkísérletek eltérően táplált növényeivel végeztek volna, ismert ásványi összetételt feltételezve. Az ásványi elemek valóságos hasznosulása és a optimumok csak a talaj-(trágya)-növény-állat tápláléklánc vizsgálatával, jól megtervezett interdiszciplináris kutatást megvalósító kísérletsorozatokkal tárhatók fel. Hasonlóképpen a toxikus elemek forgalma sem ismerhető meg az említett kutatások nélkül. A talaj-(trágya)-növény-állat kezelések mintáit, precíz mintavételeket követően, lehetőleg azonos laboratóriumban kell vizsgálni a fontosabb ásványi elemekre, és az eredményeket szintetizálva egységesen megkísérelni értelmezni. Úgy, ahogy ezek a jelenségek a természetben is megnyilvánulnak.

Az átfogóbb kutatásoknak az egész növényre kell kiterjedniük, nemcsak a föld feletti részekre. A nehézfémek és más mérgező anyagok gyakran a gyökérben halmozódnak fel, mert a gyökér rendelkezik azzal a képességgel, hogy a passzívan bejutott elemeket visszatartsa. A reproduktív szervek genetikailag a leginkább védettek és viszonylag állandóbb összetételűek. A felesleges mennyiségben felvett elemeket a sejt a vakuólumba üríti. A túlzott felhalmozás azonban a sejtet elpusztíthatja, szétroncsolja, így a jelenséget vizuálisan is diagnosztizálni lehet. A termés elemek is mutatják a tápelemhiány következményeit, vizsgálatuk táplálkozástani szempontból is indokolt.

Jobban meg kell ismernünk a növény környezetét, a talajt és az atmoszférikus hatásokat. Ma még elsősorban a talajba avatkozunk be, de az öntözés atmoszférikus hatást is jelent. Az újonnan vizsgálatba vont elemeknél meg kell állapítanunk, mely növényekben és mely szervekben akkumulálódnak elsősorban. Lokalizálni kell a szennyezett területeket, a szennyező forrásokat. Meg kell ismernünk a nehézfémek egymás közötti kölcsönhatásait, valamint más tápelemekkel, talajtulajdonságokkal, agrotechnikai beavatkozásokkal, éghajlati tényezőkkel való kapcsolatukat. Az ismeretek alapján kidolgozhatók azok az eljárások,

amelyek lehetővé teszik majd az ellenük való védekezést, a táplálékban való előfordulásuk csökkentését.

A kutatások során egyre mélyebbre hatolunk, egyre finomabb kölcsönhatásokat és mechanizmusokat ismerünk meg. A birtokunkban levő analitikai technika segít az igen kis mennyiségben (ppm, sőt ma már a ppb) előforduló elemek kimutatásában. A kísérletekben különleges tisztaságú sókat alkalmazunk. Mindez egy folyamat eredménye és hosszú fejlődést takar. Ez a fejlődés minden bizonnyal nem szakad meg a jövőben és a mai szabadföldi technikát is érinteni fogja. A P hatását pl. nem vizsgálhatjuk azzal a szuperfoszfáttal, mint P-forrással, amely mindössze 18-20 %-ban tartalmaz foszforpentoxidot stb.

6.10 Irodalom

- ALDRICH, S.R. (1973): Plant analysis: problems and opportunities. In: Soil testing and plant analysis. 213-221. Ed: Walsh, L.M. - Beaton, S.D. Madison. Wisc. USA
- AMBERGER, A. (1979): Pflanzenernährung. Ökologische und physiologische Grundlagen. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- AMER, F. - ABAUMIN, H. (1969): Evaluation of cotton response to rates, source and liming of nitrogen application by petiole analyses. Agron. J. 61:635-637.
- ATTENBERG, A. (1886): Die Beurteilung der Bodenkraft nach der Analyse der Haferpflanze. Land. Jahrb. 15:415-419.
- ATTENBERG, A. (1901): Die Variationen der Nährstoffgehalte bei dem Hafer. Journ. Landw. 49:97-172.
- BAIER, J. (1968): On the utilization of nutrients for photosynthetic production. Socialist Agric. Sci. 17:1-14.
- BARBER, St.A. - OLSON, R.A. (1968): Fertilizer use on corn. In: Changing patterns in fertilizer use. 163-188. (Ed.: Nelson, L.B.) Soil Sci. Amer. Madison. Wisconsin. USA.
- BEAR, F.E. - WALLACE, A. (1950): Alfalfa -Its mineral requirements and chemical composition. New Jersey Agr. Exp. Sta. Bull. 748.
- BERGMANN, W. (1976): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen in Farbbildern. VEB Fischer Verl. Jena.
- BERGMANN, W. - NEUBERT, P. (1976): Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. VEB Gustav Fischer Verlag. Jena.
- BERGMANN, W. (1979): Termesztett növényeink táplálkozási zavarainak előfordulása és felismerése. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- BERGMANN, W. (1988): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag. Jena.
- BOLDÜREV, N.K. (1970): Analiz liszt'ev kak metod opredelenija potrebnoszti rasztenij v udobrenijah. (Lisztovaja diagnosztika). Uchebnoe poszobie. Sz/H Insztitút Omszk.
- BOUSSINGAULT, J. (1851): Économie rural considérée dans ses rapports avec la chimie, la physique et la météorologie. 2 Bde. Paris 1843/44. Deutsche Übersetzung: "Die Landwirtschaft in ihren Beziehungen zur Chemie, Physik und Meteorologie". Halle.

- CARPENTER, P.N. (1963): Mineral accumulation in potato plants. Maine Agr. Exp. Sta. Bull. 610.
- CERLING, V.V. (1956): O diagnosztirovanii potrebnosti rasztenij v azote, foszfore i kalii pri pomosci mikroreakcij na szrezah rasztenij. In: Dokl. VI. Mezsd. Kong. Pocsvovedov. 4-aja Kom. Plodorodie Pocsv. 69-78. old. Izd. A.N. SzSzSzR. Moszkva.
- CERLING, V.V. (1978): Agrohímicseszkie osnovü diagnosztiki mineral'nogo pitaniya szel'szkohozjajsz-vennüh kultur. Izd. Nauka. Moszkva.
- CERLING, V.V. (1990): Diagnosztika pitaniya szel'szkohozjajsz-vennüh kultur. Agropromizdat. Moszkva.
- CHAPMAN, H.D. (1941): Leaf analysis and plant nutrition. Soil Sci. 52:63-89.
- CHAPMAN, H.D. (1964): Foliar sampling for determination the nutrient status of crops. World Crops. 16:35-46.
- CHAPMAN, H.D. (Szerk: 1966): Diagnostic criteria for plants and soils. Univ. of California. Riverside.
- CLEMENTS, H.F. (1964): Interaction of factors affecting yield. Annu. Rev. Plant Physiol. 15:409-442.
- COLONNA, J.P. (1970): The mineral diet of excelsor coffee plants. Natural variability of the mineral foliar composition on a homogeneous plantation. Chahier Office Research Sci. Tech. Outre-Mer. Ser. Biol. 13:67-80.
- CSATHÓ, P. - KÁDÁR, I. (1989): A lucerna tápelemfelvétele meszes csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. 38:381-394.
- ELEK, É. - KÁDÁR, I. (1977): Műtrágyázás hatása a kukorica makro -és mikroelem felvételére. A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. Keszthely. 71-81. NEVIKI. Keszthely.
- ELEK, É. - KÁDÁR, I. (1980): Állókultúrák és szántóföldi növények mintavételi módszere. MÉM NAK. Budapest.
- FRENYÓ, V. (1965): A levélanalízis újabb metodikája. Akadémiai doktori értekezés. MTA TMB. Budapest
- HALLOCK, D.L. - MARTENS, D.C. - ALEXANDER, M.W. (1969): Nutrient distribution during development of three market types of peanuts. I. P, K, Ca and Mg contents. Agron. J. 61:81-85.
- HEINRICH, R. (1882): Grundlagen zur Beurteilung der Ackerkrume. Wismar.
- HELLRIEGEL, H. (1869): Verhandlungen der V. Wanderversammlung Deutscher Agriculturchemiker, Physiologen und Vorstände der Versuchs-Stationen. Landw. Versuchs. Stat. 11:136-144.
- IZSÁKI, Z. (1981): A cukorrépa tápanyagellátottságának meghatározása levélanalízissel. In: Jelentés az üzemi kísérletek 1981. évi eredményeiről. DATE Mezőgazdasági Főiskolai Kara. Szarvas.
- JONES, J.B. (1967): Interpretation of plant analysis for several agronomic crops. In: Soil Testing and Plant Analysis. Part II. Plant Analysis. 49-58. Soil Sci. Soc. Amer. Madison. Wisconsin. USA.
- KÁDÁR, I. (1976): A foszforműtrágya igényének becslése növény- és talajvizsgálatokkal. A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. Keszthely. 205-212. NEVIKI. Keszthely.

- KÁDÁR, I. - ELEK, É. (1977): A műtrágyázás hatása a kukorica makro- és mikroelem felvételére. A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. Keszthely. 71-81. NEVIKI. Veszprém.
- KÁDÁR, I. - KRÁMER, M. (1978): Újabb adatok az őszi búza tápanyagellátottságának megítéléséhez növényanalízis-sel. A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. Keszthely. 177-185. NEVIKI. Veszprém.
- KÁDÁR, I. (1980): Növényanalízis alkalmazása az agrokémiai szaktanácsadásban és kutatásban. Agrokémia és Talajtan. 29:323-344.
- KÁDÁR, I. - LÁSZTITY, B. (1981): Az őszi búza tápelemarányainak változása a tenyészidő folyamán. Agrokémia és Talajtan. 30:291-306.
- KÁDÁR, I. - PUSZTAI, A. - LÁSZTITY, B. - SARKADI, J. - WELLISCH, P. (1981): Diagnózis és Szaktanácsadás Egységes Rendszere (DRIS): Új értékelési lehetőség a növénytermesztésben. Agrokémia és Talajtan. 30:465-486.
- KÁDÁR, I. - LÁSZTITY, B. - SZEMES, I. (1982): Az őszi rozs ásványi tápanyagfelvételének vizsgálata szabadföldi tartamkísérlet-ben. II. Levélanalízis, Na, Fe, Mn, Zn, Cu felvétele. Agrokémia és Talajtan. 31: 17-28.
- KÁDÁR, I. (1988): Növényvizsgálatok alkalmazása a trágyázási szaktanácsadásban, különös tekintet-tel a búza-kukorica-burgonya-cukorrépa kultúrákra. In: Tápanyaggazdálkodás. 14-22. Szerk.: Debreczeni, B. - Miklay, Fné. Agroinform. Budapest.
- KÁDÁR, I. - VASS, E. (1988): Napraforgó műtrágyázása és meszezése savanyú talajokon. Agrokémia és Talajtan. 37:541-547.
- KENWORTHY, A.L. (1967): Plant analysis and interpretation of analysis for horticulture crops. In: Soil testing and plant analysis. II. 59-75. Plant analysis. Madison. Wisconsin. USA.
- KENWORTHY, A.L. (1969): Fruit, nut and plantation crops deciduous and evergreen. A guide for collecting foliar samples for nutrient element analysis. Hort. Rep. 11. Michigan State Univ. East Lansing.
- LAGATU, H. - MAUME, L. (1928): Le diagnostic foliaire appliqué au controle de l'alimentation d'une vigne de citeaz avec ou sans fumure. In: Bergmann, W. - Neubert, P.: Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. VEB Gustav Fischer. Jena.
- LIEBIG, J. v. (1940): Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. 9. Aufl. Vieweg und Sohn. Braunschweig. 1876.
- LOEBSCHER, G. (1887): Der Verlauf der Nährstoffaufnahme und seine Bedeutung für die Düngerlehre. 3. Landw. 35:335-518.
- LILLELAND, O. - BROWN, J.G. (1943): Phosphate nutrition of fruit trees. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 41:1-10.
- LUNDEGÅRDH, H. (1932): Die Nährstoffaufnahme der Pflanze. Jena.
- LUNDEGÅRDH, H. (1938): The triple-analysis method of testing soil fertility and probable crop reaction to fertilization. Soil Sci. 45:447-454.
- LUNDEGÅRDH, H. (1951): Leaf analysis. Hilger and Watts LTD. London. England.
- MACY, P. (1936): The quantitative mineral nutrient requirements of plants. Plant Physiol. 11:749-764.

- MAGNICKIJ, K.P. - SUGAROV, Ju.A. - MALKOV, V.K. (1959): Novüe metodü analiza rasztenij i pocsv. Szel'hozgiz. Moszkva.
- MILHOFFER, S. (1897): A talajkimerülés. "Könyves Kálmán" Magyar Irodalmi Könyvkereskedési Rész-vénytársaság. Budapest.
- MUNSON, R.D. - NELSON, W.L. (1973): Principles and practices in plant analysis. In: Soil testing and plant analysis. 223-248. Ed.: Walsh, L.M. - Beaton, J.D. Madison. Wisconsin. USA.
- PAPP, J. - TAMÁSI, P. (1979): Gyümölcsösök talajművelése és tápanyagellátása. Mezőgazd. Kiadó. Budapest.
- PETERSEN, P. (1878): Über das Minimum der für die Haferpflanze nötigen Phosphorsäure und über die nutzbare Verbindungsform der Phosphorsäure. Jahresber. Agriculturchem. Berlin. 251-252.
- PUSZTAI, A. - KÁDÁR, I. (1980): Nitrogén-forgalmi vizsgálatok mészlepedékes csernozjom talajon, modellkísérletben. Agrokémia és Talajtan. 29:251-272.
- SAUSSURE, De, N.T. (1804): Recherches chimique sur la végétation. Paris.
- SIMS, J.L. - PLACE, G.A. (1968): Growth and nutrient uptake of rice at different growth stages and nitrogen levels. Agron. J. 60:692-696.
- SMITH, P.F. (1962): Mineral analysis of plant tissues. Annu. Rev. Plant Physiol. 13:81-108.
- STEENBJERG, F. (1951): Yield curves and chemical plant analysis. Plant Soil 3:97-109.
- STEYN, W.J.A. (1959): Leaf analysis. Errors involved in the preparative phase. J. Agric. Food Chem. 7:344-348.
- STÖCKHARDT, A. (1855): Pflanzenwachstum. VIII. Chemische Lebensbeschreibung der Haferpflanze. Der Chem. Ackersmann. Leipzig.
- SUMNER, M.E. (1978): Interpretation of nutrient ratios in plant tissue. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 9:335-345.
- SUMNER, M.E. (1979): Interpretation of foliar analyses for diagnostic purposes. Agron. J. 71:343-348.
- SZEMES, I. - LÁSZTITY, B. - KÁDÁR, I. (1984): A talaj K-ellátottsága és termékenysége közötti összefüggés vizsgálata kukorica monokultúrában. Agrokémia és Talajtan. 33:253-260.
- Sz. NAGY, GY. - KÁDÁR, I. (1989): A tápláltság és a liztharmat-fogékonyság összefüggése árpánál. Növénytermelés. 38:117-123.
- THOMAS, W. (1945): Foliar diagnosis. Soil Sci. 59:353-374.
- ULRICH, A. (1952): Physiological basis for assessing the nutritional requirements of plants. Annu. Rev. Plant Physiol. 3:207-228.
- WALLACE, A. - ABOU-ZAMZAM, A.M. - ALEXANDER, G. (1972): Measurement of changes in total plant composition of five ions simultaneously by emission spectrography. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 3:375-380.
- WILCOX, G.E. - COFFMANN, R. (1972): Simplified plant evaluation of K status. Better Crops Plant Food 56:8-9.
- WOLFF, E. (1872): Praktische Düngerlehre. Vierte Aufl. Verlag von Wiegand u. Hempel. Berlin.
- WOLFF, E. (1878): Über das Minimum der Nährsalze. Jahresber. Agriculturchem. Berlin. 250-

7. A TENYÉSZEDÉNY KULTÚRÁK ALAPELVEI ÉS MÓDSZERE

*"Két úton juthatunk el a megismeréshez,
okoskodással és tapasztalással."*

ROGER BACON

7.1 Történeti előzmények

A szabadföldi kísérletek kialakulása és az agronómiai tudomány kapcsolatát taglalva futólag érintettük a növénykísérletek előzményeit is. Utaltunk arra, hogy az elmúlt századokban mindenféle nézet uralkodott a növénytaplálást illetően. Ezeket a nézeteket azonban spekulációknak minősíthetjük, mert szabatos kísérletek nélkül nem válhattak tudományos igazságokká. A tudomány az igazolt és rendszerezett ismereteket jelenti. Gyakran hivatkozunk pl. a francia Palissy 1563-ban megfogalmazott és ma is korszerűnek tekinthető állítására, mely szerint trágyázással a növények által felvett anyagokat adjuk vissza. Ha a növényeket elégetjük, sós hamut kapunk. Minden növény valamiféle sót tartalmaz. A második évben vetett búza alá azért is égetik el a szalmát, hogy a talajt javítsa.

A fenti állítás igaz. Tudományos igazsággá azonban csak akkor vált, amikor mennyiségi méréseket végeztek és kísérletekkel igazolták. Ismeretes, hogy gazdag mezőgazdasági irodalom létezett már az ókori Rómában, mely az 1700-as évek végéig, az egzakt tudományok kialakulásáig hatott. A római szakirodalmat egy kötetben gyűjtve és sűrítve Petrus Crescentius (Bologna szenátora) jelentette meg 1240 körül. Ez a munka az ún. *Ruralium commodorum libri duodecim* (Augsburg 1471) címmel vált ismertté és számos kiadást ért meg.

A mindennapi tapasztalatok mutatták, hogy az elhalt növényi, állati szervezetek, komposztok növelik a termést. Amint már az ókorban úgy fogalmaztak, hogy "a bomlás a vegetáció anyja". A növényi növekedés alapelveit tisztázni kívánó első kísérletes próbálkozásokat követően ezt az ősi bölcsességet az újkori kutatók elfelejtették. Van Helmont 1652-ben ismertté vált híres brüsszeli kísérlete eredményeképpen, melyre korábban már utaltunk, a vizet tekintik a növekedés egyetlen "principiumának". Boyle 1661-ben megismételte a kísérletet más növényvel, egy indiai tökfélével és ugyanerre az eredményre jutott. Majd desztillálásnak vetette alá a növényt és megállapította, hogy az "sót, alkoholt, földet, sőt olajat tartalmaz", melyeket a vízből készített. A levegő és a hiányzó 2 uncia talaj jelentőségét nem ismerte fel. Megjegyezzük, a mai kísérletezők gyakori klasszikus hibája szintén a talaj és az éghajlat nem kellő figyelembevétele növénykísérleteikben.

Hollandiában Glauber 1656-ban feltételezi, hogy a salétrom a növényi növekedés alapja. Az istállók faláról nyert salétrom az állati ürülékkel van kapcsolatban, tehát az állati táplálékkal, amely a növényből származhat. A salétrom ugrásszerűen növeli a termést és meghatározza a talaj termékenységét. Russel

(1973) szerint Glauber állításait 1674-ben kísérletesen is megerősíti Mayow, aki a talajban vizsgálta a salétromot. Azt találta, hogy az a legnagyobb mennyiségben a vegetáció kezdetén tavasszal fordul elő, de nem mutatható ki később az erőteljes növekedésben levő növények alatt. A növény "kiszívja" a salétromot a talajból.

A legprecízebb és átfogóbb eredményeket Woodward szolgáltatta 1699-ben, aki Angliában megismételte Helmont és Boyle kísérleteit mentával, különböző helyről származó vizet használva kísérleteiben. A 7.1 táblázatban közölt eredmények igen tanulságosak. A növények 77 napon át egyaránt bőségesen kaptak vizet, egyformán kellett volna fejlődniük. A növekedés azonban a víz szennyezettségével emelkedett. A növények nem vízből képződnek tehát, hanem valamiféle földes anyagból. Woodward megállapítja: "Bebizonyosodott, hogy ezen (földes) anyagok jelentős mennyisége található az esővízben, kútvízben és a folyóvízben. A növényben felfelé áramló folyadék legnagyobb része az atmoszférába távozik a növény pórusain keresztül. A földes anyag nagyobb része pedig a vízzel együtt kerül a növénybe, és a növekedés többé-kevésbé ezen anyagok vízbeni mennyiségétől függ... A fentiekből arra következtethetünk, hogy az az anyag, amelyből a növények képződnek a föld, nem pedig a víz." (In: Russel 1973).

7.1 táblázat: A víz szennyezettségének hatása a 77 napos menta növény súlygyarapodására és vízfogyasztására Woodward 1699-ben végzett kísérletében (In: Russel 1973)

A víz származási helye (szennye- zettsége)	Növények súlya, g		Növekedés, g 77 nap alatt	Vízfogyasz- tás (párol- gás), g	Vízfogyasztás, g növeke- dés, g
	Kezdetben	Végén			
Esővíz	1.84	2.97	1.14	195	171
Themze folyó vize	1.82	3.51	1.69	162	96
Hyde Park vize (csatorna vize)	7.15	16.18	9.03	854	95
Hyde park vize (csatornavíz+kertiföld)	5.98	24.44	18.46	972	53

Amint a 7.1 táblázatból látható, legcsekélyebb súlygyarapodást az esővíz adott, majd azt követte a folyóvíz, a csatorna víz, és végül a kerti földdel dúsított víz. Az 1 g növényi anyag képződéséhez szükséges fajlagos vízfogyasztás a súlygyarapodással meredeken csökkent. A trágyázatlan talaj termékenységének csökkenését Woodward azzal magyarázza, hogy a növény elhasználja a talaj eme bizonyos földes anyagait. A trágyázás vagy az ugarolás az esőt pótolja. A növényi és állati hulladékok kiválóan alkalmasak lehetnek trágyázásra, mert az említett földes anyagokból a legtöbbet tartalmazzák.

Történeti érdekesség megemlíteni Tull 1731-ben Londonban megjelent munkáját, amely a Horse hoeing husbandry, azaz a Lókapás gazdálkodás címet viselte. Tull itt azt állítja, hogy a növekvő gyökerek nyelik el a talajrészecskéket. A különböző növényeknek nem kell különböző táplálék, mint a lovaknak és a

kutyáknak. A növény mindent megeszik, ami az útjába kerül, jót is, rosszat is. A forgó nem szükséges csak szokás. Bármely talaj bármely növényt táplálhat, ha a hőmérséklet és a vízellátás megfelelő. A kapálás, művelés növeli a talaj felületét és apró morzsás szerkezetét, amelyek vízben feloldódva javítják a növény táplálkozását ill. "legeltetését". Tull abból a tapasztalatból indult ki, hogy a megkapált és megfelelően művelt növények jobban fejlődnek és felhívta a figyelmet a talaj-állapot, művelés fontosságára.

Ebben a korban elfogadott, hogy több tényező serkenti a növény növekedését, úgymint a víz, föld, salétrom, levegő és a tűz (tarlóégetés stb.). A vita abban volt, hogy ezek közül melyik lehet a növények alapvető tápláléka. Általánossá válik az érdeklődés a mezőgazdaság iránt. Az Edinburgh Society 1757-ben felkéri Francis Home vegyészt, hogy "derítse ki, mire képes a kémia a földművelés alapelveinek tisztázásában". Home mint később Liebig is arra a megállapításra jut, hogy ... "A földművelés egész művészete egyetlen dologra összpontosul, a növények táplálására" (In: Russel 1973).

Home tenyészedény kísérleteket végez a termelési tényezők megismerése céljából. Azt tapasztalja: a különböző sók mint a salétrom, $MgSO_4$, K_2SO_4 növelik legjobban a termést. De az olívaolaj is hasznosnak mutatkozott. A termékeny talajok mind olajat tartalmaznak, amely ebből adódóan a növény tápláléka lehet. A levegő is táplálja a növényt, hiszen a kimerült talaj pihentetése és levegőztetése helyreállítja termékenységét. Home felismeri, hogy a növények táplálása több tényezőtől függhet, többféle tápláléka van a növénynek: különböző sók, föld, víz, olaj és a tűz "szilárd" állapotban is.

Az állati légzés, az égetés és a rothadás termékei a levegőt elrontják. Priestley 1775-ben kísérletesen bizonyította, hogy a növények a levegőt megtisztítják. Amikor az üvegharang alá egy cserépben növényt is helyezett, az ott lévő egér életben maradt. Később felfedezte és meghatározta az oxigént is. A fény szerepét azonban nem ismerte fel. Pár évvel később, 1779-ben Ingenhouss bizonyítja, hogy a folyamat csak fény jelenlétében megy végbe. Sötétben az élő növények is megrontják a levegőt. Genfben Senebier 1782-ben nem a fény, hanem a levegő hatását tanulmányozta a növényre és arra a korábban már említett következtetésre jutott, hogy Helmont brüsszeli fájának súlygyarapodása a "kötött levegő" rovására történt. A CO_2 még nem jelenik meg ekkor önálló fogalomként.

A növényélettan és a növénytáplálás keletkezését sokan De Saussure 1804-ben Párizsban megjelent "Recherches chimiques sur la végétation" című munkájához kötik, amely lényegében az agrokémiai kutatások alapjait is megteremtette. Ezzel jön létre a mennyiségi kísérletes módszertan, amely alapul szolgált azután Boussingault, Liebig, Lawes és Gilbert és mások munkáinak, ill. mind a mai napig legmegbízhatóbb kutatási módszerünk maradt. De Saussure növényeket nevelt levegőn és a levegő + CO_2 elegyén. Feltárta a növényi légzés lényegét: O_2 elnyelése és CO_2 kibocsátása. Fény jelenlétében történik a CO_2 asszimilációja és az O_2 termelése. A talajból tehát csak a növény tömegének kisebb része származik. A növényi hamu összetétele a termőhely és a növény korától függően változik. A hamu főleg lúgokból (fémekből) és foszfátokból áll, mindezek a humuszban is megvannak. A növények nem hozzák létre a hamu-

alkotó sókat, a csíranövényben nincs hamuakkumuláció, csupán a szem hamuanyagát tartalmazza.

Thaer (1809) és Davy (1813) nem tudták az új alapelveket elsajátítani. Thaer szerint: "A talaj termékenysége tulajdonképpen teljesen a humusz függvénye, mivel a víz kivételével ez az egyetlen anyag, ami a növényt táplálja. A humusz az élet terméke és annak feltétele, táplálékot ad a szervezeteknek. Nélküle semmiféle létezés nem képzelhető el." Berzelius (1838) szintén hirdette, hogy a C forrásául a növények számára a humusz szolgál. Amint láttuk, eddig a kísérleteket laboratóriumban vagy edényben végezték. Boussingault fejlesztette tovább De Saussure egzakt mennyiségi kísérletes módszerét és ezzel megalapozza az agronómiai tudományt, amint arra korábban utaltunk. Tisztázódnak a tápoldatos kultúrák, edénykísérletek alapelvei is.

7.2 A tápoldatos kultúrák alapelvei és módszere

A tápoldatos kultúrák technikája a múlt század második felében kezd fejlődni igazán a modern növénytaplálási ismeretek alapján. Akkorra tisztázódik a biológiában és a kémiában, hogy a növények mely elemekből állnak. Az elemek három forrásból származhatnak: víz, levegő és talaj. Természetesen az élő növények legfőbb alkotója a víz, de szárazanyaguk 9/10-ét a C, O, H elemek alkotják. Mint tudjuk a szén a levegőből, az oxigén a levegőből és a vízből, a hidrogén a vízből származik. A fennmaradó 1/10 makro- és mikroelemeit a talaj szolgáltatja. Gyakran az utóbbi elemek mennyisége limitálja a termést, amire nyomatékosan Liebig (1840) hívta fel a figyelmet. Igaz, hogy Liebig még a levegőt jelölte meg alapvető N forrásul. A biológiai N-kötés ekkor még nem volt ismert.

Miután felismerték a talaj szerepét, mint az ásványi sók ellátóját, felmerült, hogy a tápsókat a talajtól függetlenül adagolják. Az első kísérleteket a nagy francia vegyész Boussingault végezte az 1800-as évek elején. Mesterséges talajként kvarcot, homokot, valamint szénét használt, melyet ismert összetételű tápoldattal öntözött. Azóta is használjuk a homokot és más inert anyagokat (pl. perlit) kísérleteinkben. Elsőként tehát Boussingault eredményei igazolták kísérletesen az ásványi elméletet, jóval Liebig előtt.

A módszert Salm-Horstmar (1849) tökéletesítette és homokkultúrákban végzett kísérletekkel bizonyította, hogy a növények nem tudnak rendesen fejlődni nitrogén nélkül, csak a hamuanyagok pótlásával. Véglegesen tisztázni a N kérdését csak az edénykísérletekben lehetett. Bár voltak egyértelmű előzmények is. Sokáig megoldatlan problémát jelentett, hogy honnan veszik a pillangósok nitrogénjüket? Hiszen magas a N tartalmuk, ugyanakkor nem igénylik a N trágyát. Priestley már említett kísérletében tapasztalta, hogy kísérleti (pillangós) növénye az edény 7/8 részének levegőjét elfogyasztotta. De Saussure még nem fogadta el, hogy a növények a levegő elemi N-jét asszimilálhatják. Boussingault tenyészedényei azt mutatták, hogy a borsó és a lucerna képes a levegőből N-t felvenni, míg a búza nem. Szabadföldi kísérletei megerősítették a tapasztaltakat. Végül Hellriegel és Wilfarth (1888) tisztázta árpával és borsóval végzett homokkultúrák kísérletekben, hogy a pillangósok képesek használni a levegő N-jét

baktériumok segítségével. A baktériumok vízzel kioldhatók a pillangósok talajából és a steril homokkultúrák beolthatók.

A tápoldatos kísérletezésben a következő lépés az volt, amikor mesterséges talaj nélkül vízben nőtt a növény és a tápsókat adagolták. Ezt oldotta meg sikeresen Sachs és Knop 1860-ban, külön-külön. Sachs a következőket írja: "1860-ban olyan kísérletek eredményeit közöltem amelyek bizonyították, hogy a szántóföldi növények képesek tápanyagaikat a talaj segítségével nélkül a vizes oldatokból abszorbeálni. Ily módon lehetséges nemcsak életben tartani és tartósan tenyészteni növényeket, hanem szerves anyagaik élénk növelésére, sőt csíráképes magtermés létrehozására alkalmassá tenni." (In: Hoagland és Arnon 1950).

A Sachs által kidolgozott technikát ma is alkalmazzák. Eljárása a következő volt: Jól átmosott fűrészporsban csíráztatta a magot, majd a csíranövényt kimosta és egy kilyukasztott dugóba helyezte. A növény gyökerei a kémcsőbe öntött tápoldatba merültek. Az eljárást azonban csak később sikerült annyira tökéletesíteni, hogy a növényeket beérésükig vízkultúrára felnevelhessék. Sachs (1860) standard tápoldatát követte a Knop (1865) által javasolt. Utóbbi terjedt el. Azóta számos tápoldat vált ismertté és összetételük is változott. A 7.2 táblázatban ismertetjük a kutatás kezdetein alkalmazott néhány fontosabb tápoldat összetételét.

7.2 táblázat: Néhány ismertebb tápoldat összetétele a kutatások kezdeteinél (In: Hoagland és Arnon 1950)

Sachs (1860) oldat		Knop (1865) oldat		Pfeffer (1900) oldat	
Tápsó	g/l vízre	Tápsó	g/l vízre	Tápsó	g/l vízre
KNO ₃	1.00	Ca(NO ₃) ₂	0.8	Ca(NO ₃) ₂	0.8
Ca ₃ (PO ₄) ₂	0.50	KNO ₃	0.2		0.2
MgSO ₄	0.50	KH ₂ PO ₄	0.2	MgSO ₄	0.2
CaSO ₄	0.50	MgSO ₄	0.2	KH ₂ PO ₄	0.2
NaCl	0.25	FePO ₄	nyom.	KCl	0.2
FeSO ₄	nyom.			FeCl ₃	nyom.

Már korán elfogadottá vált, hogy nincs egyetlen ideális oldat. Az összetétel és a koncentráció változhat és viszonylag széles tartományban kielégítő lehet a növények számára. Másrészt az is igazolódott, hogy univerzális oldat elvileg sem létezhet. A növények igénye ugyanis egyedi és a fejlődés stádiumaiban is változik. Maga a tápoldat sem állandó, mert a növények szelektíven veszik fel az ionokat. Így pl. a Ca(NO₃)₂ kémiaiilag semleges só, fiziológiásan azonban lúgos. A növény energikusabban használja fel a nitrátot, mint a Ca-ot. Az oldatot folyamatosan savanyítani kellene, mert Ca(OH)₂ keletkezik. Az ammóniumsók ezzel szemben fiziológiásan savanyúak, mert az ammónia felvétele gyorsabb mint pl. a kísérő szulfátióé.

Változik tehát a közeg reakciója, koncentrációja, elemaránya. Az oldatokat ezért idővel meg kell újítani, cserélni kell. Ezek a folyamatok a talajban is lejátszódnak, de a talaj képes pufferni és kiegyensúlyozni a változásokat, legalábbis egy határon belül. Az oldatok összkoncentrációja általában 0-0.5 %

között alakul. Fontos az oldat kiegyensúlyozottsága, mely az ionok antagónisztikus hatásán alapul. Bármely ion egymagában ugyanis mérgező. A csíranövény desztillált vízben kielégítően fejlődik, amíg a mag tápelemkészlete tart. Ha a vízhez egy fiziológiás tápsó oldatát adjuk, pl. $MgCl_2$ -ot, a fejlődés gátolt lesz. Amennyiben két só oldatát alkalmazzuk, $CaCl_2$ -ot keverünk hozzá, a gátlás szinte megszűnik. A Ca ion semlegesítette a Mg ion hatását és fordítva. A semlegesítés annál eredményesebb, minél távolabbi a vegyrokonság. Ha a két sóoldathoz egy harmadikat is keverünk, KCl-ot, a növekedés teljesen normális lesz. Az oldat kiegyensúlyozottabbá vált. A természetes vizek mint a talajoldat, folyók, tavak, források vizei mind kiegyenlítették (Di Gléria 1959, Szalai 1974, Mengel 1976).

A növények adaptálódtak az eltérő tápelemkínálathoz, különben nem fejlődhetnének az eltérő talajviszonyok között sem. Ha egy tápoldat ideálisnak bizonyul is adott körülmények között (növényfaj, klíma stb.), nem kizárt a sorrend megváltozása más szituációban. A növekedési tényezők közötti komplex kölcsönhatások eredőjeként módosulhat egy-egy tényező optimuma". Az optimum ugyanis nem egy fix pont, hanem relatív érték, egy tartomány. A jó talajon természetesen minden növényfaj jól díszlik. A faji specifikumok tehát nem jelentenek nagyságrendi eltéréseket, nem feltétlenül kell fajra adaptálni a tápoldatokat.

A növényi felvétellel megindul és folyamatosan végbemegy az oldat koncentrációjának módosulása, melynek sebessége a felvétel ütemétől és az oldat tömegétől függ. Amint utaltunk rá, eközben bizonyos elemekben gyorsabban elszegényedik az oldat és így változik a minősége is, azaz az elemek egymáshoz viszonyított aránya. Másodlagos következmény a pH változása, mely bizonyos elemek (részben a P, Ca, Fe, Mn) kicsapódását eredményezheti és azok felvehetetlenné vagy nehezen hozzáférhetővé válnak a növény számára. Állandóan ellenőrizni kell tehát az oldatot és a növényeket is. A cél azonban nem egy ideális fix oldatösszetétel fenntartása. Inkább az, hogy a növény fejlődése során mindig elégséges tápelemkészlet álljon rendelkezésre egy kielégítő összkoncentráció és egy tágabb ionarány határain belül.

7.3 A tápoldatok összeállításának problémája

Az oldatok száma az elmúlt közel másfél évszázad alatt folyamatosan nőtt. Hewitt (1952) több mint száz ismertté vált tápoldat összetételét közli könyvében. Az orosz nyelvű kiadás előszavában azonban Szokolov (In: Hewitt 1960) a szerző szemére veti, hogy olyan ismert és elterjedt oldatokra nem történik utalás, mint a klasszikusnak számító Hellriegel és Prjanyisnyikov tápoldat. Az említett két tápoldat összetételét a 7.3 táblázatban ismertetjük. Hellriegel oldatának pH értéke 3.6, amely a kísérlet folyamán 7 körülire emelkedik, tehát savanyítást igényel. Prjanyisnyikov olyan tápoldatot állított össze a homoktenyészetek öntözéséhez, amelyben fiziológiásan semleges sók szerepelnek. Oldatának pH értéke 6.5 körüli, ami a növény növekedése folyamán alig változik, ill. mérsékelten savanyodik.

A tápoldatos kísérletekben a növényeket ismert összetételű és koncentrációjú ásványi oldaton neveljük. A tápoldat a különböző sók keverékének vizes oldata, amely a növényi növekedéshez szükséges elemeket kielégítő koncentrációban tartalmazza. Annak megállapítására, hogy az egyes elemek szükségesek-e vagy

nélkülözhetők, illetve hol van az adott elem optimuma a növényi fejlődés stádiumaiban, a tápoldatos kísérletek elengedhetetlenek. A termelési tényezők (fény, hő, levegő, tápláltság stb.) megállapításában, kölcsönhatásaik vizsgálatában az edény-kísérletek alapvetőnek bizonyultak, mert lehetővé tették a kontrollált körülmények közötti kvantitatív kísérletezést. Az újabb és újabb elemek, toxikus nehézfémek stb. hatásmechanizmusának feltárásában a tenyészedény kísérletezés illetően funkciója a jövőben sem változik.

7.3 táblázat: Hellriegel és Prjanyisnyikov tápoldatok összetétele Szokolov (In: Hewitt 1960) nyomán

<u>Prjanyisnyikov tápoldat</u>		<u>Hellriegel tápoldat</u>	
Tápsó	g/l vízre	Tápsó	g/l vízre
NH ₄ NO ₃	0.240	Ca(NO ₃) ₂	0.492
KCl	0.160	KCl	0.075
CaHPO ₄ ·2H ₂ O	0.172	K ₂ HPO ₄	0.136
MgSO ₄	0.060	MgSO ₄	0.060
CaSO ₄ ·2H ₂ O	0.344	FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.025
FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.025		

A talaj biológiai, kémiai természetét kikapcsolva tisztábban vizsgálhatók a tápelemfelvétel jelenségei. Itt valóban irányítható a táplálás, hiszen a talaj nem versenyez a tápanyagokért a növényvel szemben. A tápoldat összetétele kézben tartható. A biológiai gazdálkodás hívei persze nehezen tudják elfogadni "természetesnek" a tápoldatos kultúrát, hacsak nem szerves ("természetes") eredetűek a tápanyagok. Fontos a nagyfokú tisztaság, tehát a szükségtelen vagy káros anyagoktól mentesen kell kísérletezni. Az üzemi természetben azonban a mérsékelt szennyezett körülmények a komplexitás előnyeit hordozzák. Ezért alkalmazzák az ún. A-Z mikroelem oldatot, mesterségesen szennyezve az alaptápoldatot 20 nyomelemmel, nehézfémekkel. Így nagyobb növekedést érnek el, bár az elemek nem esszenciálisak: Al, As, Ba, Bi, Br, Cd, Co, Cr, F, I, Pb, Li, Hg, Ni, Rb, Se, Sr, Zn, Ti, V.

Nitrogén forrásként 100-200 ppm N ajánlott NO₃ vagy NH₄ formában, 3-4:1 arányban. A NO₃ forrás általában Ca(NO₃)₂, KNO₃, HNO₃. Az NH₄ forrásul az (NH₄)₂SO₄, (NH₄)₂HPO₄, NH₄H₂PO₄, valamint közös N-forrásul az NH₄NO₃ szolgál. A P koncentrációja 1 % felett toxikus lehet, ill. gátolhatja a Fe, Mn, Zn felvételét. A kívánatos koncentráció 30-50 ppm P, a pH-tól függően KH₂PO₄, (NH₄)₂HPO₄, NH₄H₂PO₄, K₂HPO₄, ill. H₃PO₄ alakjában. A K általában 200 ppm körüli az oldatban és KNO₃, K₂SO₄, KCl alakjában használatos. Más kationokkal való egyensúlya fontos a K-nak, mégpedig a Ca ionok és Mg ionok egyensúlya.

A K-Ca antagonizmus talán a legismertebb és legfontosabb. Amint Burström 1934-ban bemutatta, a két elem antagonista hatása kölcsönös és az átmeneti pont az egyenérték körül van. Ha a moláris K/Ca aránya 1 feletti, a K felvételét alig

befolyásolja a Ca koncentrációja, a Ca felvétel pedig visszaszorul. Ha a K/Ca aránya 1 alatti, a Ca kontrollálja a K felvételét (In: Lundegardh 1951).

A Ca tartalom 200 ppm körül ajánlott főként a $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ alakjában. A CaSO_4 ugyanis nehezen oldódik, a CaCl_2 pedig Cl tartalma miatt nemkívánatos, amit 100 ppm alatt kell tartani. Természetes vizekben 10-100 ppm körül van a N, S, Ca, Mg tartalom (a P 1 ppm, míg a legtöbb mikroelem tized ppm alatt). A Mg nem lehet több a Ca-nál, 50 ppm körül javasolják $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ alakjában. A S szintén 50 ppm körül ajánlott K-, Mg-, NH_4 -szulfát alakjában, így más kationok forrásaként is szerepel. A növények a SO_4 ionok túlsúlyát egyébként jól elviselik. A gyökérváladék elszállítása és a szükséges O_2 biztosítása (gyökérlégzés, mint a tápanyagfelvétel egyik feltétele) céljából a tápoldatokat célszerű áramoltatni. A növény kezdeti fejlődésekor kisebb a tápelemigény, ezért az indulási oldatot gyakran felezik, hígítják.

Újabban Steiner (1980) univerzális eljárást javasolt a tápoldatok készítésére. Szerinte sokféle összetétel kedvező lehet, ha a megfelelő ionegyensúlyt fenntartjuk. Mindössze 5 vegyületet alkalmaz: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, KNO_3 , K_2SO_4 , KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. A 30 mg ion/liter koncentrációt nem lépi túl. Az anion/kation összetétel az alábbi lehet az összes anion ill. összes kation %-ában:

NO_3	50-70	K	30-40
H_2PO_4	3-20	Ca	35-55
SO_4	25-45	Mg	15-30
Összesen	100	Összesen	100

Az ideális pH 6-6.5 közötti, 5 alatt és 7 felett már kedvezőtlen jelenségek lépnek fel. A túl alacsony pH mérgező lehet, a magas pH bizonyos elemek kicsapódását eredményezi. Hűvös időben de erős napfénynél tápelemhiány léphet fel, mert a felvétel gátolt a hideg oldatból. A hideg stressz ellen védekezhetünk is a tápoldat melegítésével. A száraz meleg, szeles időben nagy a párolgás és az oldat betöményedhet. Az oldható sók felfezaporodása káros lehet, melyet a só összetétele, ill. a sóindex mutat. Legerősebb sóhatást a KCl =116 fejt ki. A gyakoribb tápsók indexe az alábbi Benton (1983) szerint:

NH_4NO_3	= 104	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	= 69	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	= 34
NaNO_3	= 100	K_2SO_4	= 46	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	= 29
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	= 52	CaSO_4	= 8	CaHPO_4	= 15

Az oldat elektromos ellenállásával jól jellemezhető az oldható sótartalom. Az elektromos vezetőképesség értelmezése, ill. az oldatok minősítése a 7.4. táblázat alapján történhet. A hidropóniás üzemi termesztésben, kertészetben azért kell időnként kimosni a homokot (talajt) vízzel, hogy a sóktól megszabaduljunk. Mint ismert, viszonylag sótűrő a repce, búza, cukorrépa. Mérsékelten sótűrő a lucerna, kender, árpa, zab, rozs. A füvek, herefélék, borsó, burgonya sóra érzékeny.

7.4. táblázat: A tápoldatok minősítése az elektromos vezetőképesség adatai alapján (Benton (1983) nyomán)

Vezetőképesség mmhos/cm	Összes só %	Növényi reakció (sótűrés)	Oldatok minősítése
2 alatt	0.1 alatt	hiányzik	nem sós
2-4	0.1-0.15	érzékeny fajon	enyhén sós
4-8	0.15-0.35	kedvezőtlen	közepesen sós
8-16	0.35-0.70	sótűrők elviselik	nagyon sós
16 felett	0.70 felett	kevés sótűrő viseli	extrém sós

7.4 A talaj nélküli termesztés lehetőségei, előnyei és korlátai

A talaj nélküli termesztés lehetősége tehát nem új keletű. A kutatás mint kísérleti módszert alkalmazza abból a célból, hogy jobban megértse a növényi növekedést uraló tényezőket és hatékonyabban tudjon beavatkozni a talaj és a növény (tágabban a növény és környezete) közötti kölcsönhatásokba. Az Egyesült Államokban már a 30-as években népszerűsítette a sajtó a vízkultúrák módszerben rejlő lehetőségeket. Egyfajta science fiction stílusban megjelenített képet vetített előre, óriási várakozásokat támasztva az eljárással szemben. Részben e nyomás hatására Hoagland és Arnon már 1938-ban ismertették Kaliforniában a módszer lényegét, élettani alapjait. Az akkor már ismert két szerző nem vállalkozott arra, hogy az üzletszerű technológiára javaslatot tegyen, csupán a saját felelősségére hobbi kertészkedőnek adott némi technikai eligazítást.

Az 1940-es évektől kezdődően azonban mind Európában, mind az USA-ban számos nagyüzem létesül az iparszerű talaj nélküli növénytermesztés céljából. Az angol nyelvben e módszer többféle elnevezésével találkozunk: hidropionics, soilless farming, water-culture, nutriculture, tray agriculture, tank farming stb. A nemzetközileg is elterjedt hidropionika kifejezést Gericke (1940) vezette be, ahol a hydro vizet, a ponos görög szó pedig munkát jelent. Új iparág képe jelent meg ekkor, amely forradalmasíthatja a hagyományos növénytermesztést. Esetleg világméretben is megoldhatja az élelmiszerproblémát és önellátóvá teheti a háztartásokat.

Felmerült, hogy a városi bérházak tetején "felhőkarcoló farmok" jöhetnek létre, melyek friss zöldséggel és gyümölccsel láthatják el a lakókat. Vagy pl. a konyhából nyíló kamrából szüretelheti le a friss paradicsomot a háziasszony, amely tápoldaton és fény jelenlétében fejlődik. Az éttermek saját pincéjükben állíthatják elő hasonló módon a friss zöldséget. A két világháború közötti időben tombolt a talajerózió az Egyesült Államokban, csökken a talajok készlete és termékenysége a rablógazdálkodás és az elégtelen trágyázás nyomán. Akár az erkélyen is megoldást kínál növénytermesztés csábításának nehéz volt ellenállni. A vízkultúrát a tudomány csodájának tekintették (Hoagland és Arnon 1950).

Ahogy a szerzők megjegyzik, a növényi fejlődés valóban csodálatos jelenség, de nem kevésbé a talajon, mint anélkül. A hatalmas érdeklődés e módszer iránt lehetővé tette ugyanakkor a növényélettant és az agrokémia főbb alapelveinek

megismertetését és elterjesztését a szélesebb közönség számára, növelve ezzel az egész társadalom szakmai kultúráját. Az intenzív kutatás két irányban folyt. Vízkultúrás termesztés természetes megvilágítás, valamint kontrollált mesterséges fényviszonyok között (fitotron technika). A mesterséges megvilágítást alkalmazták a természetes megvilágítás kiegészítésére is bizonyos napszakokban, ill. fényszegény időszakokban. Utóbbit főként abból a célból, hogy gyorsítsák a növény növekedését vagy szabályozzák a dísznövények virágzási idejét üvegházi termesztésben. Ez a gyakorlat ma a talaj nélküli és a talajon való termesztésnél egyaránt dívik.

Részletes információval rendelkezünk ma már a kívánatos tápoldat összetételére, fizikai és kémiai tulajdonságaira úgymint a pH, ozmotikus potenciál, levegőztetés vagy az oldat hőmérsékletére vonatkozóan. A laborkísérletek eredményeit hasznosítja a termesztés. A burgonyának pl. megfelelő ágy kell a gumók fejlesztéséhez, ezért a tápoldat szintje felett porózus anyagot helyeznek el. A paradicsom föld feletti hajtása megfelelő támasztást igényel, míg a gyökereknek a kellően levegőztetett és fénytől védett tápoldatba kell merülniük. Az egyes növények speciális igényeit megismerve eredményesebbé válik a termesztés.

Az említett porózus ágy elősegíti az oldat levegőztetését és hőelnyelőként, valamint támasztékkul is szolgál. Amennyiben nem alkalmazunk porózus ágyat, az oldaton levegőt kell buborékoltatni. A gyökér a tápoldatban nem tud támaszt adni a hajtásnak, ezért a szilárd rögzítésről gondoskodni kell. Az üzemi termesztésben gyakran kavicsot, örölt gránitot, vermikulitot stb. használnak. Az öntözés alulról is történhet a tálból vagy ágyból automatikusan. A mesterséges ioncserélő anyagokon adszorbeált tápanyagokkal (feltöltés) biztosítható a folyamatos ásványi táplálás. A jó talajokhoz hasonlóan homokkal keverik az ioncserélő anyagokat, amelyek ezután csak egyszerű vízzel való öntözést igényelnek, elmaradhat az ismételt tápoldatos öntözés (Gericke 1940, Hoagland és Arnon 1950, Hewitt 1960, Jones 1982).

Az üzemszerűen végzett tápoldatos termesztés előnyös ill. indokolt lehet a drágán eladható zöldségféléknél, vagy a szezonon kívüli előállításban, valamint ott, ahol nincs megfelelő talaj. Az üvegházban gyorsan leromlanak a talajok, elszaporodnak a betegségek és felhalmozódhatnak a mérgező anyagok, ezért cserére szorulnak vagy sterilizációt kell végezni. Az automatizált tápoldatos termesztés itt versenyképessé válhat. Talaj hiányában szabadföldön is elterjedhet a hidroponika, amennyiben a klíma kiváló és a víz hozzáférhető. Erre volt példa a II. világháború idején az USA légierije által létrehozott üzemi termesztés a Csendes-óceán egy déli szigetén, az Egyenlítő közelében levő kis vulkánikus Ascension szigeten. A nagyszámú katonai helyőrséget friss zöldséggel úgy látták el, hogy kavicságyon tápoldatos kultúrát honosítottak meg. (In: Hoagland és Arnon 1950).

A hátrányai között említhető, hogy költséges és nagy szakértelmet igényel. A kezdeti beruházásigénye azért is nagy, mert mesterségesen kell létrehozni azt, ami egy termékeny talajon a természettől fogva adott. Szakértelem kell a tápoldat fenntartásához a sóoldat ellenőrzésére. A talajon való termesztésben gazdag történelmi tapasztalat gyűlt össze, mely itt hiányzik. Szükség van a növényi

növekedés minden tényezőjének ismeretére. A vízkultúra nem helyettesíti az amatőr kertészeti termesztő alapismereteinek hiányát.

Egységnyi területen itt sem kapunk több termést, mert a terhelést valójában nem lehet növelni. A tőszám optimumok ugyanazok, mint talajon. Amennyiben a tápláltság nincs minimumban, az állománysűrűség optimumát a fény limitálja. A növény biológiája, habitusa nem változik. A paradicsom pl. hajlamos a hosszú hajtások fejlesztésére, a magasnövésre termékenyebb talajokon is. A vízigény sem csökken hidroponikában. Az evaporációt a levélfelület és a légköri viszonyok mint a fény- és hőviszonyok, a humiditás döntően meghatározzák. Azonos a termék minősége, íze, ásványi összetétele, vitamintartalma is. A tápanyaghiány tünetek, valamint a rovar- és gombakártevők ugyanúgy jelentkezhetnek. A talajkártévők helyett legfeljebb másfajta vízkultúrák betegségei lépnek fel, melyek a cirkuláló oldattal pillanatok alatt szétterjedhetnek. A rendelkezésre álló növényfajtákat végül is a szabadföldi termesztésre nemesítették.

A klíma optimumok sem változnak. Nincs olyan tápoldat, amely helyettesítené más tényezők hiányát vagy elégtelenségét, mint pl. az alacsony hőmérsékletet vagy a fényhiányt. Ha tehát a jó kerti talajon nem fejlődik a növény ilyen viszonyok között, tápoldaton sem fog. A fotoszintézis fény- és hőigénye ugyanaz. Fagyveszély esetén az egész üvegházat kell fűteni. A tápoldat hőmérsékletét nem kell külön szabályozni (melegíteni), amennyiben az üvegház hőmérséklete kellően szabályozott. Kivéve, ha kísérletekkel igazolható a tápoldat melegítésének célszerűsége. A kiegyensúlyozatlan táplálás szinte azonnal jelentkezik a növényeken, melyek mindennapos ellenőrzést igényelnek.

Sokat ígérő újdonság lehet az aeroponika, amelyben a növény gyökere az aerosolos fürdetésben kapja a vizet és a tápanyagokat. Az eljárás víz és tápanyag kímélő. A gyökerek légzése biztosított. A módszer még nem kiforrott. Az optimális oldatok összetételét, a permetezés gyakoriságát (állandóságát) és finomságát vizsgálni kell. Itt is a Hoagland féle oldatot javasolták a komputerizált drága rendszerekben.

7.5 A homok és talaj tenyészetek sajátosságai

A napjainkig is használatos klasszikus tenyészedenyeket Wagner (1883) ill. Mitscherlich (1929, 1930) terjesztette el. Az edények kettős fenekű zománcozott bádorgból készültek, melyekbe kb. 6 kg homok fér. A tenyészedenyek alá tányérokat helyeznek az átfolyó víz felfogására. A homokot tisztítani és sterilizálni kell. A sósavas majd vizes átmosást a homok kiizzítása követi. A tiszta folyami homok mosás nélkül is megfelelhet tájékozódó jellegű kísérletekben. A szellőzést az edény aljáig érő perforált üvegcső biztosítja, a vízkapacitást 80 % körüli értékre állítják be. Talajjal a kísérletet hasonlóan végezzük. Biztosítani kell az azonos fény, hő és víz ellátottságot, ami az üvegházakban nem mindig egyszerű. Szükséges a súlyokra történő öntözés és az asztalon az edények gyakori forgatása, cseréje. Bár egyes szerzők az edényrotálást kifogásolják, mivel eltérő fejlődési fázisban éri a növényeket a szegélyhatás. Szerencsésebb szegélyedenyeket, ill. szegélynövényeket rendszeresíteni. Kedvezőbbek a tenyészházak, ahol száraz időben drótháló alatt

helyezkednek el az edények guruló asztalokon. Hasonló körülmények között végzett kísérletünk némely eredményét mutattuk be a 6.13 táblázatban.

Természetesen a tenyészedény kísérletezés technikája sokat változott idővel. A múlt század végén már kiterjedt tenyészedény kísérletezés folyt a Cserháti által vezetett Országos Növénytermelési Kísérleti Állomáson Magyaróváron. 'Sigmond (1904) 51 tenyészedény kísérlet eredményeit ismerteti összefoglaló művében. Az általa kidolgozott talajvizsgálati eljárás tesztelésére a szabadföldi és a tenyész-edény kísérleteket egyaránt és gyakran együtt végezte. A kísérleteket általában 4 ismétlésben és 8 kezeléssel állította be, a klasszikus tápelemhiány sémát alkalmazva: O, N, P, K, NP, NK, PK, NPK. Az 51 talajjal beállított kísérlet a 8 kezelést x 4 ismétlést, azaz 32 edényt alapul véve kísérletenként 1632 edényt jelent.

Az említett munka méreteire nemcsak az edények száma utal. A tenyészedényekben utánozni próbálták a szabadföldi viszonyokat annyiban, hogy nagy edényeket alkalmaztak és a növényeket teljes érésig nevelték. Van Helmont korábban végzett fűzfa tenyészete még 90 kg talajjal volt beállítva és 5 éven át tartott. 'Sigmond edényei 9-30 kg talaj befogadására voltak alkalmasak. Az egy kísérlethez szükséges edények mind egyenlő nagyok voltak. A trágyát 5 mg pontossággal lemérték és a talajba keverték, vagy oldat alakjában az edényre öntözték. Az aratást a kalászosok beérése, elsárgulása után végezték és a termést 0.1 g pontossággal határozták meg.

A klasszikusnak tekintett 6 kg-os Mitscherlich edényekben már nehézségekbe ütközik a nagyobbtestű növények felnevelése teljes érésig. A napjainkban elterjedt kisméretű (1-2 kg-os) edényekben a növényeket mindössze néhány hétig vagy hónapig neveljük. A talaj/gyökér aránya, tehát az edény mérete meghatározza, meddig tenyészik a növény különösebb deformációk nélkül. A kis edényekkel végzett kísérlet gyors és olcsó, még ugyanazon tenyészidőszak alatt esetleg megismételhető. Közvetlen trágyaigény megállapítására azonban nem lehet alkalmas. Amint 'Sigmond (1904) másutt megjegyzi: "Általában azt mondhatjuk, hogy a trágya hatása a szántóföldön és a tenyészedényben legfőbb csak kivételesen és véletlenül egyezik meg vagy mutat bizonyos határozottabb arányosságot. Erre pedig elégséges az az ok, hogy a tenyészedényben mesterségesen előállított tenyészfeltételek csak ritkán és véletlenül közelítik meg a természetes talajviszonyokat."

"Már magában véve azon körülmény, hogy a talajt nem természetes fizikai állapotában használjuk, sokszor a kísérleti edényekben igen nagy különbségeket okoz. Továbbá míg a tenyészedényekben a nedvességi viszonyok igen kedvezőek, addig a talajlevegőtől való átjárhatósága nem mindenkor oly kedvező, mint a szabad földben; és a növénygyökérzet kifejlődése, a növény beárnyékolása nem a rendes". 'Sigmond utal arra, hogy a trágyahatások az edényekben általában erősen kifejezettek és könnyebben (biztosabban és olcsóbban) megállapítható a minimumban lévő tápelem tényezők sorrendje. Elsősorban azonban a kutatást szolgálják és csak tájékoztató jellegűek a gyakorlati trágyázási kérdések megoldásában.

Az edény mérete meghatározza a talaj térfogatát. A talaj a víz és a tápanyagok hordozója, ill. a termékenység elemeként jelenik meg, amiből következik, írja Hellriegel (1898): "...egy edény maximális hozama függ az edény

nagyságától és a vízadagától. A talajtérfogat döntő befolyást gyakorolhat a növény növekedésére." Kísérleteiben a borsó föld feletti részének szárazanyag hozama 1:2:4:6, növekvő sorú talajtérfogat esetén 30:48:67:82 g/edény tömeget tett ki. Hasonló eredményre jutott a másik nagy klasszikus Lemmermann (1914), valamint később Mitscherlich (1929) is. A közelmúltban Salim (1986) hazai talajokon azt találta, hogy a talaj súlyát 1, 2, 5 kg/edény sorrendben növelve a 60 napos kukorica hajtása 20-30, a lucerna és a 75 napos búza hajtásának tömege 60-80 %-kal emelkedett. A gyökerek tömege ugyanakkor érdemben nem változott.

7.6 A tenyészedény kísérletek eredményeinek gyakorlati interpretálása

A talajjal beállított tenyészedény kísérletek természetesen nem helyettesítik hanem kiegészítik a szabadföldi kísérleteket. A két módszert összevetve rámutathatunk a tenyészedény kísérletezés előnyeire és hátrányaira a szabadföldi kísérletekkel szemben. Előnyei között említhetjük:

- Nagyságrenddel olcsóbban és gyorsabban kivitelezhető;
- Kézen tarthatóbb, egzaktabb és reprodukálhatóbb;
- Képes jelezni a tápelemek minimum sorrendjét, valamint a talaj készletét is (exhaustiv);
- Végül az edény talaja egyidejűleg reprezentálja az átlagmintát és a mintavételi területet, a két fogalom egybeesik.

Hátrányai között említik, hogy eredményei közvetlenül a gyakorlatban nem alkalmazhatók, mert pl. Atanasiu (1966) szerint:

- A szűk talaj/gyökér arány miatt a talajtápanyagok igénybevétele erősebb;
- A biztosított optimális vízellátás miatt a tápelemek oldhatósága a talajban jobb, mint a szántóföldön;
- A trágyahatások sokkal kifejezettebbek az egyéb tényezők optimuma, valamint a korlátozott talajtérfogat (tápelemekészlet) miatt.

Az edénykísérletekben kapott eredmények interpretálása kétségtelenül nagyobb óvatosságot igényel, amennyiben azokat szaktanácsadási célokra használjuk. Az alábbiakban bemutatjuk néhány kísérletünk főbb adatait, melyek tanulságait megkíséreljük a gyakorlati trágyázás terén is hasznosítani. A kísérleteket 1981-1983. években végeztük meszes csernozjom és meszes homok talajokkal. A 80-as évek elejére világossá vált, hogy a földművelésünk tápanyag-gazdálkodásának alapjául szolgáló NPK műtrágyázás mikroelem hiányokat indukálhat szinte bármely talajon. A P-Zn antagonizmus elsősorban a Zn igényes kukoricában, a N-Cu kölcsönhatás a Cu-igényes kalászosokban, míg a K-Mg, K-B közötti esetleges antagonizmus a takarmánynövényeknél, napraforgónál okozhat termésnövekedést. Ugyanakkor a makro és mikroelem egy része is talajszennyezővé válhat, indokolt tehát a túlادagolásnak, a termésgörbék lehajló ágának elemzése is.

A kísérleteket osztott parcellás (split-plot) elrendezésben állítottuk be, edényenként 1.8 kg talajjal. Mind a makro (főparcella), mind a mikro (alparcella) tápanyagok ellátottságát általában 4-4 szint képviselte 4x4=16 kezeléssel és 4 ismétlésben, talajonként és kísérletenként tehát 64 edénnyel. A kísérleteket

megismételtük, így évenként 256 edénnyel a bokrosodás vége stádiumáig (tavaszi árpa, köles) neveltük. Vizsgáltuk a felvehető makro- és mikroelemek mennyiségét, valamint meghatároztuk a növények tömegét és tápelemtartalmát. A PxZn kísérletek eredményeit a 7.5 és a 7.6 táblázatban foglaltuk össze (Shalaby és Kádár 1984, Kádár és Shalaby 1986):

7.5 táblázat: A PxZn trágyázás hatása a talajra és a 4-6 leveles kukorica növényre
Tenyészedény kísérlet, meszes csernozjom talaj, Nagyhörcsök, 1981 (Kádár és Shalaby 1986)

Tulajdonság	0	1	2	3	SzD _{5%}	Átlag
Adott P mg/kg	-	100	200	300		
AL-P mg/kg	46	102	159	232	7	136
Száranyaghozam (hajtás) g/edény	4.4	11.8	15.1	16.2	0.8	11.8
Tápelemtartalom a hajtásban						
K %	5.20	4.85	4.34	4.21	0.20	4.65
N %	2.51	2.70	2.67	2.70	0.10	2.64
Ca %	1.42	1.05	0.86	0.84	0.05	1.04
Mg %	0.26	0.24	0.27	0.30	0.02	0.27
P %	0.11	0.15	0.20	0.24	0.02	0.18
Adott Zn mg/kg	-	10	20	30		
AL-Zn mg/kg	0.6	6.1	11.5	16.7	0.3	8.7
EDTA-Zn mg/kg	2.5	9.6	16.8	21.7	0.4	12.6
Zn tartalom a hajtásban a P ellátottság függvényében, mg/kg						
P0	42	60	75	93		67
P100	29	55	73	81	17	60
P200	24	58	63	78		56
P300	22	47	63	68		50
Átlag	29	55	68	80	8	58
Zn tartalom a gyökérben a P-ellátottság függvényében, mg/kg						
P0	33	41	59	72		51
P100	27	42	46	60	10	44
P200	25	39	48	59		43
P300	26	38	49	56		42
Átlag	28	40	50	62	5	45

Megjegyzés: $P \times 2.23 = P_2O_5$

7.6 táblázat: A PxZn trágyázás hatása a talajra és a 4-6 leveles kukorica növényre tenyészedény kísérletben Duna-Tisza közti meszes homoktalaj, Órbottyán, 1981 (Shalaby és Kádár 1984)

Tulajdonság	0	1	2	3	SzD5%	Átlag
Adott P mg/kg	-	100	200	300		
AL-P ppm	39	98	153	226	8	129
Szárazanyaghozam g/edény	4.0	8.6	10.7	11.1	0.7	8.6
K %	5.15	4.20	4.08	3.99	0.29	4.36
N %	2.93	2.98	3.22	3.25	0.15	3.10
Ca %	1.63	1.42	1.24	1.20	0.13	1.37
Mg %	0.25	0.22	0.24	0.25	0.04	0.24
P %	0.11	0.17	0.26	0.33	0.02	0.22
Na %	0.23	0.19	0.18	0.17	0.02	0.19
Fe ppm	272	247	225	253	61	249
Mn ppm	67	52	51	56	4	56
Zn ppm	92	79	68	64	7	76
Cu ppm	6	5	5	6	1	5
Adott Zn mg/kg	-	10	20	30		
AL-Zn ppm	0.6	6.1	11.5	16.6	0.3	8.7
EDTA-Zn ppm	2.1	8.6	15.7	20.5	0.3	11.7
Szárazanyaghozam g/edény	8.7	8.6	8.7	8.3	0.7	8.6
Zn ppm a 4-6 leveles hajtásban a P-ellátás függvényében						
P0	50	87	110	121		92
P100	34	87	94	101	14	79
P200	34	66	78	93		68
P300	33	58	76	89		64
SzD5%		14				7
Átlag	38	75	90	101	7	76

1. A Zn trágyázás a kukorica szárazanyag hozamát nem befolyásolta ebben a fejlődési stádiumban, míg a P-trágyázás 2-3-szorosára növelte a hajtás és a gyökér tömegét.
2. A ZnSO_4 formában adott Zn, valamint a $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ formában adott P mintegy 60-70 %-a maradt könnyen oldható formában. Az EDTA-oldható Zn mennyisége kismértékben meghaladja az AL-oldható értékeket, különösen a Zn trágyázásban nem részesült talajokon.

3. A P-ellátás növelése 20-40 %-kal csökkentheti a Zn felvételét (koncentrációját), mely Zn trágyázással ellensúlyozható. Átlagosan 10 ppm Zn adag 10-20 ppm koncentráció növekedést eredményezett a növényi szövetekben.
4. A Zn trágyázás mértékét a talaj P-ellátottsága függvényében indokolt megállapítani. Feltehetően 100 kg/ha P adagolásakor 10 kg/ha körüli Zn adag javasolható e talajokon. A szaktanácsadásban javasolt egyszeri 3-10 kg/ha Zn trágyázási adagok alábecsültek, a talajba ennek 5-10-szerese is indokolt lehet.

A meszes csernozjom talajon hasonló sémával beállított szabadföldi tartamtrágyázási PxZn kísérletben kukorica monokultúrában a fenti megállapításokat igazoltuk (Csathó és Kádár 1989).

A viszonylag sok N trágyát használó gabonatermesztő üzemekben már néhány évtizeddel ezelőtt észlelték a Cu igényes kalászosok Cu tartalmának csökkenését (Voisin 1964). Irodalmi adatok szerint a Cu hiányok fellépését a hosszan tartó szárazság és részben a magas pH, illetve a talaj magas mésztartalma is elősegítette (Tisdale és Nelson 1966, Bergmann 1983). A hazai tapasztalatok szűkössége nem tette lehetővé, hogy megítéljük a N túlsúly Cu tartalmat befolyásoló hatását, illetve annak eldöntését, hogy az így előálló esetleges Cu koncentráció csökkenése milyen mérvű Cu trágyázással ellensúlyozható. A NxCu kísérleteink eredményeit a 7.7 és 7.8. táblázatban foglaltuk össze (Shalaby és Kádár 1984, Kádár és Shalaby 1985).

1. A vizsgált meszes talajokon az NH_4NO_3 formában adott N hatására elsősorban a talajok KCl-oldható NO_3 tartalma nő meg, míg a kicserélhető NH_4 mennyisége kevésbé változik. A jól szellőző talajon kedvező hő- és csapadékviszonyok között (tavasszal), a nitrifikáció gyorsan lezajlik a talajban és az NH_4 rövid néhány hét alatt NO_3 formává alakulhat.
2. A felhasznált összes N fele-harmada volt csupán ásványi formában kimutatható a talajban, feltehetően a mikrobiális immobilizáció következtében. A CuSO_4 formában adott Cu ugyanakkor könnyen oldható formában maradt a tenyésztési idő folyamán.
3. A Cu trágyázás sem a hozamokat, sem a legtöbb elem felvételét nem befolyásolta. Az árpa gyökerei az adagolt Cu egy részét felvették, de a hajtásba a transzport gátolt volt. A N bősége egy bizonyos határig növelheti is a Cu beáramlását a gyökerekben, a már erős N túlsúly azonban mind a hajtásban, mind a gyökérben inkább ezzel ellentétes hatást fejt ki.
4. A mintegy 10 ppm Cu adagolásával az árpa gyökerének Cu tartalma 10-15 ppm értékkel növekedett. A hazai szaktanácsadásban e talajokra javasolt 3-5 kg/ha Cu trágyázással, egyszeri alkalmazás esetén, lényegesen nem javítható a kalászosok Cu ellátása. A N túlsúly depresszív hatása elsősorban a gyökerek visszamaradt fejlődésében jelentkezik. A meszes csernozjom talajon hasonló sémával beállított szabadföldi NxCu tartamtrágyázási kísérletben különböző kalászos növényekkel a tenyészedeny kísérletek főbb tapasztalatait igazolni tudtuk (Kádár és Csathó 1992).

7.7 táblázat: A NxCu trágyázás hatása a talajra és a bokrosodáskori tavaszi árpára. Tenyészedény kísérlet, meszes csernozjom talaj, Nagyhorcsók, 1982. (Kádár és Shalaby 1984)

Tulajdonság	N0	N1	N2	N3	SzD _{5%}	Átlag
Adott N mg/kg	-	400	800	1200		
NH ₄ -N mg/kg talaj	9	11	12	20	9	13
NO ₃ -N mg/kg talaj	10	121	148	324	65	151
Száranyaghozam						
hajtás g/edény	4.8	4.6	3.7	3.5	0.5	4.2
gyökér g/edény	1.6	1.2	0.8	0.5	0.2	1.0
Tápelemtartalom a hajtásban						
K %	5.07	5.19	4.99	4.98	0.27	5.04
N %	3.07	3.86	4.50	5.33	0.30	4.19
Ca %	0.61	0.93	1.52	2.02	0.09	1.17
P %	0.28	0.29	0.29	0.32	0.02	0.29
Mg %	0.16	0.17	0.18	0.20	0.01	0.18
Tápelemtartalom a gyökérben						
N %	2.45	2.80	3.30	3.52	0.42	3.02
K %	2.11	2.29	2.17	1.75	0.29	2.08
Ca %	1.30	0.83	0.82	1.25	0.12	1.05
P %	0.31	0.28	0.31	0.38	0.04	0.32
Mg %	0.21	0.20	0.26	0.29	0.05	0.24
Fe %	0.24	0.18	0.18	0.12	0.06	0.18
Mn mg/kg	131	130	162	88	29	128
Zn mg/kg	24	24	25	16	2	22
Cu mg/kg	22	24	26	15	6	22
N tartalom a hajtásban a NxCu trágyázás függvényében, %						
Cu 0	3.09	3.59	4.48	5.09		4.06
Cu 4	3.04	3.78	4.58	5.39	0.36	4.20
Cu 8	3.01	4.02	4.52	5.39		4.24
Cu 12	3.14	4.06	4.39	5.44		4.26
Cu tartalom a gyökérben a NxCu trágyázás függvényében, mg/kg						
Cu 0	11	17	16	9		13
Cu 4	20	24	24	13	8	20
Cu 8	26	25	30	18		24
Cu 12	30	30	33	19		28

7.8 táblázat: A NxCu trágyázás hatása a talajra és a bokrosodáskori tavaszi árpára tenyészvény kísérletben. Duna-Tisza közti meszes homoktalaj, Órbottyán, 1982. (Kádár és Shalaby 1984)

Tulajdonság	0	1	2	3	SzD _{5%}	Átlag
Adott N mg/kg	-	200	400	600		
NO ₃ -N ppm	9.0	23.0	46.9	49.2	6.0	32.0
Szárazanyaghozam g/edény	1.52	5.32	5.52	4.42	0.52	4.20
K %	3.80	5.26	5.06	4.80	0.29	4.74
N %	1.18	3.51	4.38	5.16	0.21	3.56
P %	0.73	0.40	0.39	0.38	0.03	0.48
Ca %	0.44	0.50	0.73	1.24	0.12	0.72
Mg %	0.27	0.17	0.17	0.19	0.04	0.20
Na %	0.18	0.18	0.24	0.35	0.05	0.24
Cu, ppm, hajtás						
Cu 0	9	7	5	4		6
Cu 4	9	8	6	4	2	7
Cu 8	9	8	6	5		7
Cu 12	10	8	7	6		8
Átlag	9	8	6	5	1	7
Cu, ppm, gyökér						
Cu 0	26	22	23	25		24
Cu 4	31	43	40	41	8	39
Cu 8	39	63	55	65		56
Cu 12	45	81	66	74		66
Átlag	36	52	46	51	3	46

Ismert, hogy elsősorban a laza szerkezetű savanyú podzol övezet talajai szegényednek el B-ban a kilúgzás következtében. A B felvehetőségét a meszezés is lecsökkentheti olyan mértékben, hogy B hiánya léphet fel. A növény kielégítő ellátottsága és a B-többlet között nagyon szűk a határ, könnyen előfordulhat túladagolás. A barnaszénrel tüzelő üzemekből szálló por is káros B-túlsúlyt okozhat, amennyiben a barnaszén hamujában sok a bór. Egyre gyakrabban figyelnek meg B-többlet okozta károkat a bórtartalmú vízzel való öntözés esetén. Arid vidékeken inkább lehet B-túlsúlyra számítani, mint csapadékos tájakon. Hazánkban mind a B-hiány, mind a B-többlet előfordulhat.

Az irodalomban leírták, hogy mely talajok és kultúrák B-igényesek, azonban a talajok B-terhelését, ill. a növények B-tűrését kevésbé vizsgálták. Az alábbiakban főként a B talajszennyező, termékenységet veszélyeztető hatásáról kívánunk tájékoztatást adni. A KxB kísérleteink eredményeit a 7.9 és 7.10 táblázata-

tokban foglaltuk össze. A kísérleteket részletesen korábban már ismertettük (Shalaby és Kádár 1984, Kádár és Shalaby 1985):

1. A vizsgált meszes talajokon a K_2SO_4 formában adott K mintegy fele-harmada mutatható ki AL-oldható formában a tenyésztő végén átlagosan. A K adagok növelésével azonban a K megkötődése csökken, ill. a felvehető forma aránya emelkedik. A $Na_2B_4O_7$ formában adagolt B mintegy fele forróvíz-oldható formában maradt a talajban.
2. A lineárisan növekvő B adagok hatására megközelítően exponenciálisan nőtt a napraforgó növények hajtásának B tartalma, különösen a K-ban szegény talajon. A 150-200 ppm B tartalom feletti tartományt mérgezésnek tekinthetjük, az irodalmi adatokkal megegyezően. Ez az állapot akkor következett be, amikor a talajok B tartalma (forróvíz-oldható frakció) meghaladta a 10-20 ppm értéket.
3. A hajtás B tartalma B-trágyázás nélkül közel 4, míg a bórral erősen trágyázotton mintegy 6-szorosa a gyökérnek. A B tömegáramlással könnyen bejuthat a növénybe és a növényen belüli transzportja sem gátolt, így elsősorban a hajtásban akkumulálódik. A Na ezzel ellentétes tendenciát mutat, főként a gyökérben halmozódik fel. (7.9 táblázat)
4. A talaj kielégítő K ellátottsága bizonyos fokig ellensúlyozni képes a bóraxszal végzett túltrágyázás kedvezőtlen hatását. A K trágyázás többszörösére növelte a növényi részek K %-át, míg a többi vizsgált elem koncentrációját bizonyíthatóan vagy tendencia jelleggel csökkentette. A B túlsúlya ezzel ellentétes hatást gyakorolt a hajtás összetételére (7.9 és 7.10 táblázatok).
5. A homoktalajon (Örbottyán) már 10 ppm B adag tendenciájában depressziót eredményezett. A 20 mg B a napraforgó hozamát felére, a 30 mg/kg B adag pedig közel 1/10-ére csökkentette. A vályog csernozjom talajon (Nagyhőrcsök) a 20 ppm B adag még nem eredményezett terméscsökkenést. A 40 ppm adagolása a hajtás termését átlagosan 90, míg a 60 ppm B 64 %-ra mérsékelte.
6. A vizsgált talajokban a B nem kötődik meg a növény számára felvehetetlen formában, ezért az esetleges nagyobb adagú egyszeri, vagy a rendszeres B trágyázás elővigyázatosságot igényel. Növény- és talajvizsgálatokkal a bór-többletek vagy mérgezések diagnosztizálhatók. A termékeny kötöttebb talajok képesek nagyobb mérvű B terhelést elviselni a talajtermékenység csökkenése nélkül.

A meszes csernozjom talajon hasonló kísérleti tervvel beállított szabadföldi KxB tartamtrágyázási kísérletben kapott eddigi, jórészt még nem publikált eredményeink igazolni látszanak a tenyészvény kísérletek tapasztalatait. Összefoglalóan megállapíthatjuk, hogy a tenyészvény kísérletekben szerzett trágyázási tapasztalatok a talajvizsgálat és a növényelemzés módszereivel általánosíthatók, szabadföldi kísérletekkel történt összevetés és ellenőrzés után eredményei a szaktanácsadásba beépíthetők.

7.9 táblázat: A KxB trágyázás hatása a talajra és a 4-6 leveles napraforgóra. Tenyészedény kísérlet, meszes csernozjom talaj, Nagyhorcsök, 1983 (Kádár és Shalaby 1985)

Tulajdonság	0	1	2	3	SzD _{5%}	Átlag
Adott K mg/kg talaj	-	400	800	1200		
AL-K mg/kg talaj	134	150	234	464	32	246
Száranyag hozam (hajtás) a B trágyázás függvényében, g/edény						
B0	11.8	12.8	15.4	12.9		13.2
B20	12.0	13.8	14.5	13.2	1.9	13.4
B40	10.4	12.1	13.0	11.2		11.7
B60	6.3	10.7	7.1	9.4		8.4
Átlag	10.1	12.4	12.5	11.7	1.0	11.7
Tápelemtartalom a hajtásban						
N %	3.00	2.77	2.71	2.52	0.20	2.75
K %	1.95	5.18	6.96	7.14	0.27	5.31
Ca %	2.41	2.06	2.04	1.70	0.25	2.05
Mg %	0.97	0.50	0.33	0.28	0.03	0.52
P %	0.29	0.25	0.25	0.23	0.02	0.26
Fe mg/kg	183	115	103	99	33	125
Mn mg/kg	93	63	59	56	7	68
Tápelemtartalom a gyökérben						
K %	0.75	2.97	4.02	5.11	0.34	3.21
Mg %	0.68	0.49	0.36	0.28	0.08	0.45
Na %	0.79	0.49	0.33	0.23	0.05	0.46
Fe %	0.30	0.27	0.23	0.20	0.05	0.25
Adott B mg/kg talaj	-	20	40	60		
Forróvíz-oldható B mg/kg talaj	1.0	8.6	20.7	33.4	1.8	15.9
Tápelemtartalom a hajtásban						
Na %	0.08	0.11	0.12	0.14	0.04	0.11
B mg/kg	82	125	227	407	40	210
Tápelemtartalom a gyökérben						
N %	1.81	1.75	1.55	1.53	0.22	1.66
Mg %	0.51	0.51	0.41	0.39	0.08	0.45
Na %	0.31	0.40	0.51	0.61	0.05	0.46
P %	0.29	0.27	0.23	0.21	0.03	0.25
B mg/kg	23	34	39	60	11	39

7.10 táblázat: A KxB trágyázás hatása a talajra és a 4-6 leveles napraforgóra tenyészedény kísérletben. Duna-Tisza közti meszes homoktalaj, Órbottyán, 1983. (Kádár és Shalaby 1984)

Tulajdonság	0	1	2	3	SzD _{5%}	Átlag
Adott K mg/kg	-	200	400	600		
Száranyag g/edény						
B0	11.4	17.5	17.2	19.6		16.4
B10	11.8	16.8	16.6	18.1	2.3	15.8
B20	5.9	9.3	10.1	12.2		9.4
B30	1.6	1.3	3.1	3.3		2.3
Átlag	7.7	11.2	11.7	13.3	1.2	1.2
K %, hajtás						
B0	0.79	1.68	3.12	3.87		2.37
B10	0.82	1.80	3.21	4.12	0.64	2.49
B20	0.94	2.52	4.42	5.16		3.26
B30	1.25	3.82	4.99	5.99		4.01
Átlag	0.95	2.45	3.94	4.79	0.32	3.03
Na ppm, hajtás						
B0	213	80	81	45		105
B10	507	68	47	30	134	163
B20	1655	155	88	47		486
B30	1632	400	236	185		613
Átlag	1002	176	113	77	63	342
B ppm, hajtás						
B0	33	41	51	59		46
B10	207	114	148	263	113	183
B20	433	316	324	368		360
B30	780	526	720	523		637
Átlag	363	249	310	303	57	306

Megjegyzés: Az SzD_{5%} értékek a sorokra és oszlopokra azonosak

7.7 A tápoldatos kísérletek eredményeinek interpretálása

A növények ásványi táplálása és tápelemfelvétele tápoldatos kísérletekben tanulmányozható a legegyszerűbben. Lehetőség nyílik ugyanitt mesterséges fertőzést alkalmazva tisztázni a tápláltsági állapot és a növényi betegségek fellépésének gyakorisága közötti kapcsolatokat. A főbb makrotápelemek mint a nitrogén, foszfor, kálium, kalcium és magnézium táplálás hatását az árpa fejlődésére és a

lisztharmattal való fertőzöttségére ilyen módon vizsgáltuk tápoldatos kísérletekben mesterséges fertőzés viszonyai között (Sz. Nagy és Kádár 1989, Kádár és Sz.Nagy 1990a, 1990b).

Ezúttal a sóterhelésnek, azaz az ideális összetételűnek ismert Hoagland-Snyder (1933) tápoldat növekvő koncentrációjának hatását mutatjuk be a tavaszi árpa fejlődésére és lisztharmat telepeinek képződésére. A növények sótűrését általában az oldható összes sókoncentráció függvényében fellépő terméseszkökenéssel jellemzik. Az egyes növényfajok sótűrése közismerten eltérő. Az árpát a közepesen sótűrő kultúrák közé sorolják. A talaj "összes oldható só" tartalmát a talajoldat elektromos vezetőképességével jellemzik a gyakorlatban. Megemlíthető, hogy terméketlen talajokon, ahol egyéb tényezők miatt alacsony a termés, a sótűrés látszólag nagy lehet. Az eredetileg is alacsony termést tovább csökkenteni ugyanis már nem könnyű, mert a hozamokat más tényezők limitálhatják. A forró és száraz időjárás a talajoldat "betöményedését" eredményezi és a hazai megfigyelések szerint is érzékenyebbé teszi a növényeket a sóra, míg a nedves és hűvös időjárás javítja a sótűrést (hígulási effektus).

Kísérletünkben műanyag tálcába állított 8 cm átmérőjű (0.2 literes) poharakban desztillált vízzel többször átmosott kertészeti perliten Favorit fajtájú tavaszi árpát neveltünk 3-4 leveles korig, kb. 1 hónapon keresztül. Edényenként 5-5 növényt hagytunk meg. A kezelések száma 14, az ismétlések száma 4 volt, tehát $14 \times 4 = 56$ edénnyel dolgoztunk. Vetés után a magokat perlittel fedtük és nedvesen tartottuk. A kifejlett növényeket hetente két alkalommal öntöztük az azonos mennyiségű, de eltérő koncentrációjú tápoldatokkal. Az edényekből elpárolgott ill. a növények által felhasznált folyadékot szükség szerint pótoltuk desztillált vízzel.

Az inokulálás egyleveles korban történt az árpalisztharmat (*Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*) konidiumaival, a további fertőzés spontán terjedt. A kísérlet végén edényenként megmértük a növények magasságát, szárazanyaghozamát, a képződött lisztharmat telepek számát levélemeletenként, valamint a hajtások ásványi összetételét. A Hoagland-Snyder oldat pH értéke 6 körüli volt. A standard tápoldat összetételét a 7.11 táblázatban közöljük. A normál Hoagland tápoldat, amint a táblázatból látható, 2322 ppm, azaz 2.3 g/liter sóterhelést jelent. Az egyes kezelésekből a standard Hoagland tápoldatot 1/10-ére, 1/3-ára, felére hígítottuk, illetve fokozatosan a 100-szorosára töményítettük. A kontrollt a desztillált vizes kezelés jelentette (7.12 táblázat).

7.11 táblázat: A standard Hoagland-Snyder (1933) tápoldat összetétele (Sótűrési kísérlet, 1984)

Makroelemek	mg/liter	Mikroelemek	mg/liter
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1181	H_3BO_3	0.6
KNO_3	505.5	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.4
KH_2PO_4	136	ZnSO_4	0.05
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	493	CuSO_4	0.05
Összesen	2315.5	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.02
Mikroelemek	6.1	FeCl_2	5.00
Standard oldat	2321.6	Összesen	6.12

7.12 táblázat: Alkalmazott tápelemkoncentrációk mg/literben, ill. %-ban (Sótűrési kísérlet, 1984)

Kezelés jele	Elemek koncentrációi mg/liter					Összes sóterhelés	
	N	P	K	Ca	Mg	g/l	%
0	0	0	0	0	0	0	0
0.10	21	3	23	20	5	0.2	0.02
0.33	70	10	78	67	17	0.8	0.08
0.50	105	15	117	100	25	1.2	0.12
1	210	31	235	200	50	2.3	0.23
1.33	280	41	313	267	67	3.1	0.31
1.50	315	46	352	300	75	3.5	0.35
2	420	62	470	400	100	4.6	0.46
3	630	93	705	600	150	7.0	0.70
5	1050	155	1175	1000	250	11.6	1.16
10	2100	310	2350	2000	500	23.2	2.32
20	4200	620	4700	4000	1000	43.4	4.34
50	10500	1550	11750	10000	2500	116.1	11.61
100	21000	3100	23500	20000	5000	232.2	23.22

A kísérlet főbb eredményeit a 7.13 táblázat, valamint a 7.14 ábra segítségével mutatjuk be. A következtetéseket az alábbiakban kíséreljük meg összefoglalni:

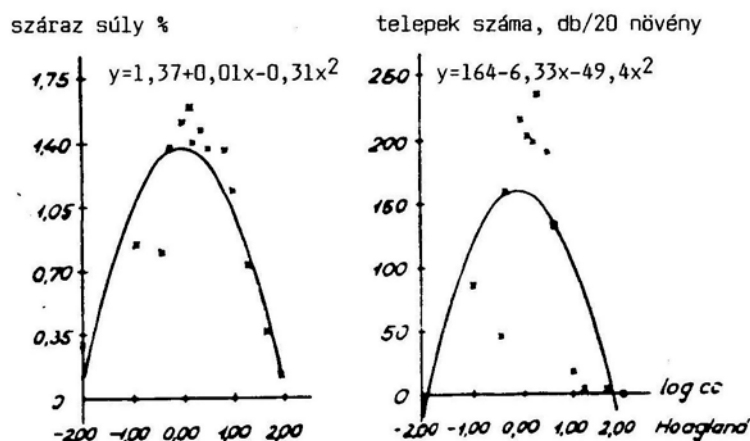
1. A normál Hoagland oldatban is ajánlott koncentrációig (0.23 %-os sóoldat töménységig) statisztikailag igazolhatóan nőtt az árpa magassága, hozama, valamint csökkent a hajtás szárazanyag %-a. A 3-5-szörös töménységű Hoagland koncentráció felett már megbízhatóan csökken a hozam és újra nő a szárazanyag tartalom (7.13 táblázat).
2. A liztharmattelepek száma többé-kevésbé párhuzamosan emelkedett vagy csökkent a hajtás tömegével. A tápsók hiánya vagy túlsúlya azonos módon hatott a gazdanövényre és a liztharmatra.
3. A drasztikus tápelemhiány és a tápelemtúlsúly azonos jelenséget indukált. A növény elszáradásához, korai előregedéséhez és pusztulásához vezetett. Ugrás-szerűen nőtt mindkét tartományban a szárazanyag %-a, vagyis lecsökkent az élettani aktivitásra utaló víztartalom. Az előregedés és részben a mérgezés jelének tekinthető az abnormális mennyiségben felhalmozódott Ca is a növényi szövetekben.

7.13 táblázat: Növekvő sókoncentráció hatása az 1 hónapos tavaszi árpa hajtásának fejlődésére és a liztharmat telepek alakulására. Sótűrési kísérlet, 1984. (Kádár és Sz. Nagy 1990)

Kezelés jele	Magasság		20 növény súlya, g		20 növény súlya, %		Száranyag %	Telepszám	
	cm	%	friss	légszáraz	friss	légszáraz		db/20 növény	%
0	13.6	47	1.2	0.28	9	19	22.4	1	0
0.10	25.4	87	5.2	0.85	37	56	16.4	85	40
0.33	23.7	81	5.2	0.80	37	53	15.4	45	21
0.50	28.5	98	10.3	1.36	74	90	13.2	163	76
1	29.2	100	14.0	1.51	100	100	10.8	215	100
1.33	29.4	101	14.6	1.58	104	105	10.8	202	94
1.50	28.4	97	12.6	1.39	90	92	11.1	199	93
2	29.0	99	13.0	1.46	93	97	11.2	235	109
3	27.8	95	11.0	1.35	79	89	12.3	191	89
5	28.4	97	9.4	1.34	67	89	14.2	134	62
10	25.6	88	7.7	1.14	55	75	14.8	19	9
20	17.1	59	4.1	0.78	29	52	17.4	5	2
50	7.6	26	1.4	0.38	10	25	27.1	3	1
100	3.7	13	0.4	0.13	3	9	29.1	0	0
SzD ₅ %	1.9	7	1.7	0.20	12	13	2.8	60	28
Átlag	22.7	-	7.9	1.02	-	-	16.1	107	-
CV %	6	-	14	13	-	-	8	78	-

1 = Standard Hoagland kezelés

7.14 ábra: A 3-4 leveles tavaszi árpa hajtása száraz súlyának és a telepek számának változása a tápláltság (Hoagland koncentráció logaritmusa) függvényében



4. A Hoagland tápoldatos kísérleteinket összefoglalva azt találtuk, hogy az egyhónapos, 3-4 leveles árpa hajtás optimális összetételét 3-4 % körüli N és K; 0.3-0.7 % körüli Ca és P; 0.2-0.4 % Mg jellemzi. Az optimális elemarányok: Ca/Mg=1-2, N/P=6-8, K/P=10-13, K/Ca=10-15 tartományban jelentkeztek. Adataink felhasználhatók szántóföldi viszonyok között is hasonló korú tavaszi árpaállomány tápláltsági állapotának megítélésére, iránymutató jelleggel.

A szaktanácsadásba is beépíthető adatokon túl arra az elvi következtetésre jutottunk, hogy a tápanyagellátottság a növényre gyakorolt hatáson keresztül befolyásolhatja az árpa lisztharmattal szembeni viselkedését. Minél jobb kondícióban volt a gazdanövény, annál fogékonyabb volt lisztharmatra. Viszonylagos ellenállást azok a növények mutattak, amelyek tápláltsági állapota és hozama rosszabb volt, függetlenül attól, hogy melyik elem hiánya vagy túlsúlya idézte elő a defektust.

Megvizsgáltuk egy kétszikű növény, az uborka tápláltsági állapota és az uborka-lisztharmattal (*Sphaerotheca fuliginea*) szembeni viselkedését is, hasonló kísérleti metodikát alkalmazva. A standard Hoagland koncentráció sorozat mellett a N, P, K, Ca és Mg 9-9 ellátottsági szintjét állítottuk be. A növényeket 5-6 leveles korig, a vetéstől számított 10. hétig neveltük. Edényenként 3-3 növényt hagytunk meg. Az ismétlések száma 3 volt, így elemenként $9 \times 3 = 27$, azaz összesen $6 \times 27 = 162$ edénnyel dolgoztunk. A kezeléseket a 7.15, a növénykísérlet némely eredményét a 7.16 táblázatban tüntettük fel.

7.15 táblázat: A kísérletben alkalmazott tápelemkoncentrációk (Uborka tápoldatos kísérlet, 1985)

Kezelés száma	Hoagland sorozat*	Tápelem hiánykísérletek, mg/liter				
		N	P	K	Ca	Mg
1.	0	0	0	0	0	0
2.	0.1	21	3	24	20	5
3.	0.33	70	10	78	80	15
4.	1	210	31	235	200	50
5.	1.33	280	41	313	280	65
6.	2	420	62	470	400	100
7.	3	630	93	705	600	150
8.	5	1050	155	1175	1000	250
9.	10	2100	310	2350	2000	500

* A normál Hoagland oldatot a 4. kezelés reprezentálja

Amint a 7.15 táblázatból látható, a standard Hoagland oldatot 1/10-ére és 1/3-ára hígítottuk, illetve 1.33-, 2-, 3-, 5- és 10-szeres töménységben alkalmaztuk. A 0 koncentrációt a desztillált vizes kezelés jelentette. A tápelemhiány kísérletekben az adott elem mennyiségét változtattuk, az alap Hoagland összetétel változatlan maradt. A kísérlet főbb tapasztalatait az alábbiakban foglaltuk össze (Sz.Nagy és Kádár 1990):

1. A desztillált vizes kontrollon és az 5-10-szeres töménységű Hoagland oldaton nőtt növények hozama egyaránt alacsony maradt. A legtöbb lisztharmat telep a kétszeres töménységű Hoagland tápoldaton képződött, ahol a növények a legmagasabbak és legnagyobb tömegűek voltak, valamint a legtöbb levél fejlődött (7.16 táblázat).
2. A tápelemhiány kísérletekben megállapítottuk, hogy megközelítően a kétszeres Hoagland töménységnek felelhet meg a N, P és K optimális koncentrációja. Ezzel szemben a Ca és a Mg optimumok az 1/10-1/3 Hoagland koncentráción jelentkeztek. Feltehetően a szubsztrátként használt kertészeti perlit volt képes az uborka ezen utóbbi alkáli földfémekkel szembeni igényét részben kielégíteni.
3. A 2.5 hónapos uborka föld feletti hajtásának ásványi összetételét elemezve azt találtuk, hogy a legnagyobb hajtástömeget produkáló kezelésekben az optimális vagy kielégítő tápelemellátottság a következő %-os határértékekkel jellemezhető: 2.5-3.5 N; 0.4-0.6 P; 3-5 K; 2-2.5 Ca; 0.5-0.8 Mg. Adataink iránymutatóul szolgálhatnak a hajtatásos uborkatermesztésben, a hasonló korú növények tápláltsági állapotának ellenőrzésében.

7.16 táblázat: Tápláltság hatása a 10 hetes uborka fejlődésére és liztharmattal szembeni ellenállóságára. Tápoldatos kísérlet, 1985. (Sz.Nagy és Kádár 1990)

Kezelés száma	Növény magassága, cm	9 növény súlya, g	Szárazanyag %	Levelek száma, db	Liztharmattelep,db/növény
Standard Hoagland-Snyder tápoldat sorozat					
1.	2.5	0.3	6.8	2.0	1
2.	5.6	1.0	10.6	2.2	14
3.	12.8	2.7	9.6	3.0	39
4.	29.3	7.3	8.5	4.8	66
5.	35.5	10.3	9.1	5.5	105
6.	46.5	14.7	9.5	6.7	122
7.	24.7	8.2	8.0	5.3	126
8.	10.0	3.5	9.0	4.2	53
9.	2.2	0.6	21.4	1.2	2
SzD5%	4.0	0.9	2.1	0.5	52
Átlag	18.8	4.3	10.3	3.9	58
Nitrogén táplálási sorozat					
1.	4.9	1.0	11.2	2.0	5
2.	7.6	1.9	10.6	2.8	22
3.	16.4	5.5	12.1	3.7	66
4.	27.5	7.8	9.1	5.3	87
5.	39.4	9.5	7.9	6.1	90
6.	25.5	8.3	8.1	5.3	77
7.	28.9	8.4	7.7	5.9	75
8.	29.4	8.3	8.7	6.7	56
9.	16.5	5.4	9.8	5.8	49
SzD5%	3.0	0.8	1.4	0.4	36
Átlag	21.8	6.2	9.5	4.8	57

Megerősítettük és általánosítottuk tehát azt az elvi következtetést, melyet a gazdanövény-liztharmat kapcsolatra már a tavaszi árpánál konstatáltunk: a liztharmat-fertőzés a gazdanövény kondíciójától (tápláltsági állapotától) függ. Növényvizsgálati határértékeket szolgáltatunk az uborka tápláltsági állapotának ellenőrzésére, melyek közvetlenül beépíthetők a szaktanácsadásba.

7.8 A szabadföldi mikroparcellás kísérletek alapelvei és módszere

A mikroparcellás kísérletek átmenetet képeznek a szabadföldi kisparcellás kísérletek és a tenyészedény kísérletek között. Míg a kisparcellák mérete általában 20-100 m² közötti, a mikroparcellák 1-2 vagy néhány m² felületet jelenthet-

nek. Az elvi különbség azonban nem a parcellák méretében nyilvánul meg a két módszer között.

A helyesen végrehajtott kisparcellás trágyázási kísérletekben a szokásos üzemi agrotechnikát alkalmazzuk (gépi talajművelés, vetés, növényápolás stb.) és a parcellák mérete lehetővé teszi a szegélyhatások kiszűrését. Az aratás, a termés mérése a parcellák ún. nettó területéről történik. A trágyahatások megbízhatóan állapíthatók meg, a termések hektárra átszámíthatók és az abszolút termésadatok alapján következtetések vonhatók le a trágyázás gazdasági hatékonyságát illetően.

A mikroparcellás kísérletekben a tenyészedényekhez hasonlóan kézi művelés, vetés, növényápolás történik, bár a kísérlet a természetes körülmények (nedvesség, hő, fény) között folyik. A terméseket a kezelések közötti összevetésre használjuk, viszonylagosak. Ez a módszer alkalmas lehet pl. az eltérő műtrágyaformák vizsgálatára, bemosódási vizsgálatokra stb. Nagyszámú műtrágyaféleség összehasonlító vizsgálatakor meggyorsul és olcsóvá válik a tesztelés, kis területet igényelve. Évente több tízezer ilyen tesztelést végeztek a Szovjetunióban a 30-as években, a műtrágyaipar kiépítése kezdetén (Prjanisnyikov 1945).

A mikroparcellákon (a tenyészedényekhez hasonlóan) a gondosabb növényápolás, tőszám biztosítása, valamint a veszteségmentes betakarítás eredményeképpen az abszolút termések igen magasak lehetnek a szántóföldi üzemi viszonyokhoz képest. Természetesen nem önmagában a parcella mérete az irányadó tehát, hanem a kísérleti körülmények és a szegélyhatás. Mivel a kutatások későbbi szakaszában általában a szabatos kisparcellás kísérletekben is tesztelni kell a fontosabb trágyaféleségeket eltérő talajokon, a mikroparcellás technikát sokan előkísérleteknek tekintik. Hazánkban nem terjedtek el annak ellenére, hogy a kísérletek hibája jelentősen csökkenthető az olcsóbb parcellaszám (ismétlések) emelésével. Bizonyos kísérleti célokra alkalmasak és a korlátozott számú kísérleti telepeinken, ill. korlátozott nagyságú területeinken nagyságrenddel lennének képesek növelni a kísérletek számát és az információk tömegét.

7.9 A liziméteres kísérletek alapelvei és módszere

A liziméterek lényegében mikroparcellás kísérletek, 1-2 vagy néhány m^2 felülettel. Mindaz érvényes rájuk, amit fentebb elmondtunk a mikroparcellás technikát illetően. Még kevésbé "természetes" körülményeket jelentenek azonban, mint a mikroparcellák. A liziméter kádakat utólag töltik meg talajjal, tehát a talaja sem eredeti bolygatatlan (tenyészedényhez közelít). Hosszabb időszak, esetleg néhány év kell ahhoz, hogy a liziméterek talaja "természetes" állapothoz hasonló szerkezetet nyerjen.

A liziméter kísérletek célja a tápanyag- és vízforgalom figyelemmel kísérése, a kilúgzás, kimosódás kvantitatív meghatározása. E téren nem helyettesíthetők, minden korlátuk ellenére. A liziméterek általában 1-2 vagy néhány m^2 szabad termőfelülettel rendelkező 60-200 cm mély betonkádak. A kád alja perforált és kavicsréteggel fedett, felette a vizsgálandó talajréteg található. A talajoszlopból kimosódó sók a vízzel együtt átfolynak és felfogóedényekbe kerülnek. A felfogó-

edényeket gyakran egy földalatti folyosó két oldalán helyezik el a liziméter aknában, így azok könnyen megközelíthetők és a mintavétel kényelmesebb.

A liziméter kísérletek költségesek. A liziméter állomás állandó gondozást igényel, valamint általában öntözéssel kísérletezést feltételez. Meglehetősen nagy kézi munkaerőt, laborkapacitást, energiaszükségletet stb. követelhet meg a folyamatos kísérletezés során. Elvi korlátai között kell említenünk a szegélyhatást, mely nemcsak a növényen jelentkezhet, hanem a kádak falai mentén a teljes talajprofilban mint vízvezető. Másik fontos "természetellenes" tényező a kádak mélysége, ill. a talaj tömege. A liziméterek "gyökérjárta" rétege limitált.

Megfelelő talajon szabadföldön a növények gyökereiket több méterre is lebocsáthatják, ill. oldalirányban is kiterjeszthetik. A kapillárisokon keresztül a víz és az abban oldott tápanyagok visszajuthatnak a felső, növényi gyökerekkel sűrűn átszőtt feltalajba, ahonnan kimosódtak. Ez a jelenség különösen hazai viszonyaink között ismert. A csapadékszegényebb késő tavaszon vagy nyár elején pl. a tavasszal kimosódott nitrátok ismét a szántott réteg felé közelednek, a felsőbb rétegekben akkumulálódhatnak. Ez a mechanizmus a liziméterekben nem működik.

Az alábbiakban példaképpen bemutatjuk egy liziméter kísérletünk eredményét (Márton et al. 1990), melyben a szója N-forgalmát elemeztük. Ismeretes, hogy a szója N szükségletének egy részét a légköri N megkötésével képes fedezni. Hazai "steril" talajainkon azonban oltás nélkül gyakran N műtrágyázásra szorulhat, mert a telepítés első éveiben nem képződnek gümők a gyökereken és elmarad a N-kötés. Célunk volt ezért oltás nélküli viszonyok között vizsgálni a szója N felvételét és a talaj ásványi N készletének alakulását N műtrágyázás hatására.

A liziméter állomást a Keszthelyi Agrártudományi Egyetem létesítette 1981-ben Ramann-féle homokos vályog barna erdőtalajon. A kádak egyenként 4 m^3 talajtérfoggattal és 4 m^2 szabad termőfelülettel rendelkeztek. A kísérleti talaj főbb jellemzői az alábbiak voltak beüzemelés idején:

$\text{pH}_{(\text{KCl})}$	=	7.0	CaCO_3	=	2.1 %
$\text{AL-P}_2\text{O}_5$	=	80 ppm	Humusz	=	1.3 %
$\text{AL-K}_2\text{O}$	=	100 ppm	Leiszapolható rész	=	28 %,

tehát a talaj enyhén meszes és humuszos, felvehető foszfor és kálium tartalma alapján gyengén-közepesen ellátottnak minősült.

Kísérletünket 1986 tavaszán állítottuk be kukorica elővetemény után, McCall szójafajtaival. Alaptrágyaként 1985 őszén $100\text{ kg/ha P}_2\text{O}_5$ ill. $120\text{ kg/ha K}_2\text{O}$ hatóanyagot szórtunk ki szuperfoszfát és 60 %-os kálisó formájában. A N kezelések beállítása előtt 0-30, 30-60, 60-90 cm mélységben talajmintákat vettünk minden liziméter kádból 13-15 pontminta összekeverésével az ásványi N tartalom meghatározására. A mintavételt évente megismételtük a növények betakarítását követően.

A N műtrágyát ammóniumnitrát formájában adtuk, kádanként kézzel kiszórva és 20-25 cm mélyre ásóval beforgatva. Az első évben 0, 40, 80, 120 kg/ha , míg a soron következő 1987. és 1988. években 0, 100, 150, 200 kg/ha volt a N adagja, hogy a N-görbe leszálló ágát elérjük. A 4 kezelést 3 ismétlésben állítottuk be. A 12 kád sorban volt elhelyezve egymástól kb. 20-20 cm távolságra. A vetés 40

cm sortávra történt, kádanként 5 sor x 2 fm = 10 fm összes tenyészterülettel. Folyóméterenként 35-40 magot vetettünk, azaz kádanként 350-400 db magot, majd a kelés után a tőszámot 200 db/kád mennyiségben limitáltuk. Utóbbi megfelel az üzemi szokásos 500 000 db/ha növényállománynak.

Ezután nyitottuk a vízadagoló csapot és biztosítottuk az optimális vízellátást 70 % körüli szántóföldi vízkapacitást véve alapul. Mértük a kádakból távozó, ill. külön a lehulló csapadékvíz mennyiségét és (NO₃+NO₂)-N tartalmát. Betakarításkor megállapítottuk a gyökér, szár és a hüvely termését, valamint N tartalmát. Terméskötéskor mintavétellel meghatároztuk a lomb súlyát és N tartalmát. Aratás idején ugyanis csak a főgyökér az első nódusznál levágva, a lombtalan szár és a hüvely (szemmel együtt) volt elkülöníthető. A lomb ekkor már teljesen lehullott e fajtánál. A kísérlet főbb eredményeit a 7.17 (termés), 7.18 (felvett N) és a 7.19 (N mérleg) táblázat mutatja be.

7.17 táblázat: N műtrágyázás hatása a szója hozamára, légszáraz súly t/ha aratáskor. Liziméter kísérlet, Keszthely, 1986-1988. (In: Márton - Kismányoki - Kádár 1990)

N kg/ha	Főgyökér	Szár	Lomb*	Hüvely	Mag	Összesen
1986. augusztus végén						
0	0.67	1.87	2.45	0.75	1.81	7.55
40	0.79	2.41	3.95	1.24	2.11	10.49
80	0.83	3.04	5.04	1.32	2.67	12.91
120	0.84	3.88	4.70	2.08	3.01	14.50
SzD5%	0.36	1.32	0.99	0.96	0.74	4.32
Átlag	0.78	2.80	4.04	1.35	2.40	11.36
1987. szeptember elején						
0	0.51	2.28	2.66	1.43	2.68	9.57
100	0.69	2.74	2.76	2.11	3.76	12.06
150	0.99	3.64	3.70	3.33	5.44	17.10
200	1.00	3.96	3.36	2.55	4.13	15.00
SzD5%	0.45	1.92	0.34	0.74	1.92	5.44
Átlag	0.80	3.16	3.12	2.35	4.00	13.43
1988. szeptember elején						
0	0.72	6.37	4.16	0.60	3.10	14.95
100	0.75	6.34	4.26	0.79	3.58	15.72
150	1.06	8.56	8.00	1.70	4.36	23.67
200	0.51	9.10	5.72	0.92	4.18	20.45
SzD5%	0.48	3.24	0.44	0.53	0.50	6.12
Átlag	0.76	7.59	5.54	1.00	3.80	18.70

* Lomb: a terméskötéskor mért súly, mintakéve alapján becsülve

A kísérletből levonható tanulságokat a következőkben foglaljuk össze:

1. Az adott talajon és szabályozott optimális vízellátás mellett a 200 kg/ha maximális N adag már túltrágyázásnak bizonyult. Tendenciájában csökkentette a mag, valamint bizonyíthatóan a hüvely termését (7.17 táblázat).
2. A gyökér és a lomb súlya nélkül számított szárazanyag produkció, tehát a betakarítható gazdasági termésnek mintegy 1/3-át tette ki a szem, mely átszámítva 1.8-5.4 t/ha között ingadozott a kezelésektől és az évektől függően (7.17 táblázat).
3. A N elsősorban a magban akkumulálódik elérve a 4-7 %-ot és mintegy 7-10-szeres koncentrációt mutathat a gyökér, ill. a szár N tartalmához viszonyítva. Az összes felvett N fele, évente átlagosan 102-256 kg/ha a magba épült be. A maximális összes N hozamot, 631 kg/ha mennyiséget 1988-ban kaptuk 150 kg/ha műtrágyázás eredményeképpen (7.18 táblázat).

7.18 táblázat: N-műtrágyázás hatása a szója N-felvételére betakarításkor, N kg/ha/év. Liziméter kísérlet, Keszthely, 1986-1988. (In: Márton - Kismányoki - Kádár 1990)

N kg/ha	Főgyökér	Szár	Lomb*	Hüvely	Mag	Összesen
1986. augusztus végén						
0	3	10	34	7	77	131
40	3	10	65	13	88	179
80	3	10	108	14	111	245
120	3	13	149	22	131	319
SzD5%	1	4	22	5	32	66
Átlag	3	11	89	14	102	218
1987. szeptember elején						
0	3	12	49	7	170	240
100	4	16	59	10	234	323
150	5	21	86	18	342	472
200	6	27	88	16	266	404
SzD5%	2	9	9	4	112	104
Átlag	4	19	71	13	253	360
1988. szeptember elején						
0	6	64	97	9	209	384
100	6	67	110	13	244	441
150	10	94	201	29	297	631
200	4	96	121	15	276	511
SzD5%	4	25	21	8	72	140
Átlag	6	80	132	17	256	492

* Lomb: felvétel terméskötéskor, mintakéve alapján becslve

4. Annak ellenére, hogy a növényi felvétel 2-4-szeresen meghaladta a trágyában adott N mennyiségét, a talaj ásványi N készlete nem csökkent a kísérlet végére (7.19 táblázat). A monokultúrás szója talaja tehát fokozatosan elvesztette "steril" jellegét, előtérbe kerülhetett a biológiai N-kötés. A termesztés első éveiben a szója N műtrágyázásra szorulhat oltás nélküli viszonyok között.

7.19 táblázat: A kísérleti kezelések talajának ásványi N mérlege a számított egyenlegek, ill. a talajvizsgálatok adatai alapján aratáskor, kg/ha (In: Márton-Kismányoki - Kádár 1990)

Műtrágyával aratáskor tavasszal adott	Előtte a talajban volt	Csapadék által bejutott	Összes bevétel a talajban	Növény által felvett	Talajban Mérleg egyenlegei szerint	volt Talaj- vizsg. szerint
1986. évben						
0	124	10	134	131	+ 3	206
40	119	10	169	179	- 10	174
80	136	10	226	245	- 19	154
120	178	10	308	319	- 11	143
SzD5%	62	-	72	66		16
Átlag	139	10	209	218	- 9	169
1987. évben						
0	232	19	251	240	+ 11	203
100	220	19	339	323	+ 16	201
150	231	19	400	472	- 72	252
200	227	19	446	404	+ 42	248
SzD5%	42	-	59	104		64
Átlag	228	19	359	360	1	226
1988. évben						
0	140	11	151	384	- 233	136
100	145	11	256	441	- 185	128
150	157	11	318	631	- 313	178
200	166	11	377	511	- 134	210
SzD5%	35	-	41	140		69
Átlag	152	11	276	492	- 216	163

Meg kell említeni, hogy a terméskötéskori lomb tápanyagainak egy része, feltehetően a N készletének egy kisebb hányada is, a magba vándorolhatott az érés folyamán. Ezzel nem számoltunk, így az összes N forgalom valószínűleg túlbecsült számításainkban. Másrészről nem mértük a csapadék ill. a kádakból

elfolyó víz ammónia tartalmát, csak a (NO₃+NO₂)-N mennyiségét. Utóbbi a N forgalom alábecsülését eredményezheti. A mérleg két tétele azonban kiegyenlítheti egymást, hiszen nagyságrendileg hasonló bevételekről, ill. kiadásokról lehet szó. A kimosódó NO₃-N mennyisége a kezelésektől függetlenül mindössze 8-10 kg/ha körül ingadozott, ezért a számításokból kihagytuk.

Összefoglalóan megállapíthatjuk, hogy a liziméter kísérletek helyettesíthetetlenek lehetnek a kontrollált víz- és tápanyagforgalmi vizsgálatokban, a növény-táplálási kutatások igénye minden bizonnyal nőni fog e módszer alkalmazása iránt.

7.10 Irodalom

- ATANASIU, N. (1966): Pflanzenphysiologische Verfahren. 844-873. In: Scharrer-Linser: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung. II. Band. Springer Verlag. Wien-NewYork.
- BENTON, J. Jr. (1983): A guide for the hydroponic and soilless culture grower. Timber Press. Portland. Oregon. USA.
- BERGMANN, W. (1983): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen - Entstehung und Diagnose. VEB Gustav Fischer. Jena.
- BURSTRÖM, H. (1934): Über antagonistische Erscheinungen bei der Kationenaufnahme des Hafers. Svensk botan. tidskr. 28:157-168.
- CSATHÓ, P. - KÁDÁR, I. (1989): P-Zn interaction studies on maize (*Zea mays* L.) monoculture. In: 6th Int. Trace Element Symp. on Cu, Zn and other trace elements. (Eds: M.Anke et al. 2:630-637. Leipzig-Jena.
- DAVY, H. (1813): Elements of agricultural chemistry. London. In: Russel (1914): Boden und Pflanzen. Verlag Theodor Steinkopf. Dresden und Leipzig.
- GERICKE, W.F. (1940): The complete guide to soilless gardening. Prentice-Hall. Inc. New York.
- DI GLÉRIA, J. (1959): Mezőgazdasági kémia. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- HELLRIEGEL, H. - WILFARTH, H. (1888): Untersuchungen über die Stickstoffnahrung der Gramineen und Leguminosen. Ztschr. d. Vereins f.d. Rübenzuckerindustrie. 20-40.
- HELLRIEGEL, H. (1898): Die Methode der Sandkulturen. Arb. Deutsch. Landw. Ges. Heft 34.
- HEWITT, E.J. (1952): Sand and Water Culture Methods Used in the Study of Plant Nutrition. Technical Communication No. 22. of the Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops. Kent. Commonwealth Agricultural Bureaux. Esat Malling. Maidstone.
- HEWITT, E.J. (1960): Peszcsanüie i vodnüie kul'turü v izucsenii pitanija rasztenij. Izd. Inosztrannoj literaturü. Moszkva.
- HOAGLAND, D.R. - SNYDER, W.C. (1933): Nutrition of strawberry plant under controlled conditions. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 30:228-294.
- HOAGLAND, D.R. - ARNON, D.J. (1950): The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil. The College of Agriculture University of California. Berkeley.

- JONES, J.B. - LARGE, R.L. - PFLEIDERER, D.B. - KLOSKY, H.S. (1971): The proper way to take a plant sample for tissue analysis. *Crop and Soils Magazine*. 23. No. 8. 15-18.
- JONES, J.B. (1982): Hydroponics: Its history and use in plant nutrition studies. *J. Plant Nutr.* 5:1003-1030.
- KÁDÁR, I. - SHALABY, M.H. (1984): A nitrogén és réztrágyázás közötti kölcsönhatások vizsgálata meszes homok-talajon. *Agrokémia és Talajtan*. 33:268-274.
- KÁDÁR, I. - SHALABY, M.H. (1984): Interaction between K and B fertilizers in a calcareous chernozem soil. 9th World Fert. Cong. Proc. (Ed: L.E. Welte and I. Szabolcs) 2:470-474.
- KÁDÁR, I. - SHALABY, M.H. (1985): A K és B trágyázás hatása a talaj és a növény tápelemtartalmára. *Növénytermelés*. 34:321-327.
- KÁDÁR, I. - SHALABY, M.H. (1986): A P és Zn trágyázás közötti összefüggések vizsgálata meszes csernozjom talajon. *Növénytermelés*. 35:419-425.
- KÁDÁR, I. - SZ. NAGY, Gy. (1990): Adatok a tavaszi árpa ásványi összetétele, hozama és betegséggellenállósága össze-függéséhez. *Agrokémia és Talajtan*. 39:91-102.
- KÁDÁR, I. - SZ. NAGY, Gy. (1990): Adatok a tavaszi árpa sótűrésének és lisztharthat fogékonyságának összefüggéséhez. *Növénytermelés*. 39:503-514.
- KÁDÁR, I. - CSATHÓ, P. (1992): A nitrogén és réz trágyázási tartamkísérletek eredményei meszes csernozjomon. Kézirat. MTA TAKI. Budapest.
- KNOP, W. (1865): Quantitative Untersuchungen über die Ernährungsprozesse der Pflanzen. *Landw. Vers. Stat.* 7:93-124.
- LEMMERMANN, O. (1914): Zur Frage der Ermittlung des Düngungsbedürfnisses der Böden mit Hilfe der chemischen Bodenanalyse. *Landw. Vers. Stat.* 83:345-358.
- LIEBIG, J. von (1840): Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. 9. Auflage. Vieweg und Sohn. Braunschweig. 1876.
- LUNDEGÅRDH, H. (1951): Leaf analysis. Hilger and Watts Ltd. London. England.
- MÁRTON, L. - KISMÁNYOKI, T. - KÁDÁR, I. (1990): A szója N ellátottságának és N-forgalmának vizsgálata liziméterekben. *Növénytermelés*. 39:55-64.
- MENGEL, K. (1976): A növények táplálkozása és anyagcseréje. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- MITSCHERLICH, E.A. (1929): Gefäß- und Feldversuch als Grundlage für die zweckmäßige Düngung. *Superphosphat*. 5:11-26.
- MITSCHERLICH, E.A. (1930): Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens. 3. Auf. P. Parey Verlag. Berlin.
- MITCHELL, R.L. (1951): Leaf analysis. Hilger and Watts Ltd. Hilger Division. London. England.
- PRJANISNYIKOV, D.N. (1945): Azot v zemledelii SzSzSzR. In: Popularnaja Agrohimiya. Izd. Nauka. Moszkva. 1965.
- RUSSEL, E.J. (1914): Boden und Pflanze. Verlag Theodor Steinkopf. Dresden und Leipzig.
- RUSSEL, E.W. (1973): Soil Conditions and Plant Growth. Longman. London.

- SACHS, J. von (1960): Berichte über die physiologische Thätigkeit and der Versuchstation in Tharandt. IV. Vegetationsversuche mit Ausschluss des Bodens über die Nährstoffe und sonstigen Ernährungsbedingungen von Mais, Bohnen und anderen Planzen. Landw. Vers. Stat. 2:219-240.
- SALIM, A.H. (1986): Response of plants grown in pots to soil CaCO_3 content and fertilization. Kandidátusi disszertáció tézisei. Budapest.
- SHALABY, M.H. - KÁDÁR, I. (1984): Effect of simultaneous N and Cu fertilization on a calcareous chernozem soil. 9th World Fert. Cong. Proc. (Ed: E. Welte and I. Szabolcs) 3:99-104.
- SHALABY, M.H. - KÁDÁR, I. (1984): A foszfor- és cinktrágyázás közötti kölcsönhatások vizsgálata meszes homok-talajon. Agrokémia és Talajtan. 33:261-267.
- SALM-HORSTMANN, Fürst zu (1849): Versuche über die notwendigen Aschenbestandteile einiger Pflanzen-Spezies. Journ. Prakt. Chem. 46:139-211.
- 'SIGMOND, E. (1904): Mezőgazdasági Chemia. Term.tud. Társulat. Budapest.
- STEINER, A.A. (1961): Universal method for preparing nutrients solutions of certain desired composition. Plant and Soil. 15:134-154.
- STEINER, A.A. (1980): The Selective Capacity of Plants for Ions and its Importance for the Composition and Treatment of the Nutrient Solution. Acta Horticulture. 37-97.
- SZALAI, I. (1974): Növényélettan. I. Anyagcsere-élettan. Tankönyvkiadó. Budapest.
- Sz. NAGY, GY. -KÁDÁR, I. (1989): A tápláltság és liztharmat fogékonyság összefüggései árpánál. Növénytermelés. 38:117-124.
- Sz. NAGY, GY. -KÁDÁR, I. (1990): Adatok az uborka ásványi összetétele, hozama és liztharmat ellenállósága összefüggéséhez. Agrokémia és Talajtan. 39:74-90.
- THAER, A. (1809): Grundsätze der rationellen Landwirtschaft. Realschulbuchhandlung. Berlin.
- TISDALE, S.L. - NELSON, W.L. (1966): Soil fertility and fertilizers. Macmillan Publishing Co., Inc. New York. Collier Macmillan Publishers. London.
- VOISIN, A. (1964): Fertilizer Application. Soil, plant, animal. Crosby Lockwood. London.
- WAGNER, P. (1883): Beiträge zur Ausbildung der Düngerlehre. Landw. Jb. 12:601-643.

8. VIZSGÁLATOK KÍSÉRLETEK NÉLKÜL. A PASSZÍV MEGFIGYELÉSEN ÉS ADATGYŰJTÉSEN ALAPULÓ KUTATÁSOK ALAPELVEI ÉS MÓDSZERE

*"Ami a természetben gyökerezik, nő és gyarapszik.
Ami a nézetekben, csak alakját váltja."*

FRANCIS BACON

8.1 Általános megközelítés, a módszer alapelvei és terjedése

A szabatos kísérletekben egy vagy néhány vizsgált tényezőt mesterségesen változtatunk (kezelés), míg az egyéb körülményeket igyekszünk változatlanul tartani, hogy a beavatkozásaink hatását megítélhessük. Általában a kísérletet tekintjük a tudományos megismerés legfőbb vagy sokszor egyetlen eszközének, ill. a hipotézisek bizonyítási kritériumának. Összetettségük miatt azonban a legfontosabb életjelenségek és folyamatok, melyek a mezőgazdaságban, talajban, növényben, valamint a talaj-növény rendszerben lejátszódnak, kísérletesen valójában nem vizsgálhatók. Csak a kisebb-nagyobb részjelenségek ismerhetők meg ilyen módon.

A bevezető fejezetekben pl. taglaltuk a mezőgazdaság fejlődéstörténete és a talaj termékenysége közötti kapcsolatokat. Térben és időben elemeztük az eltérő földművelési rendszerek és gazdálkodási módok tápanyagviszonyait. A tápelem-mérleg módszerével vizsgáltuk az országos és regionális különbségeket. A történeti megközelítés és a szintézis segítette a hosszabb időszakokat átívelő fejlődés jelenségeinek és törvényszerűségeinek megértésében. Az átfogóbb jelenségek lényegi megragadása tehát nem kísérletes úton történt.

Az aktív beavatkozás azonban még a szűkebben vett talajtermékenységi kutatásokban is nehézségekbe ütközik. Így pl. a legfontosabb talajtulajdonságok termésre gyakorolt hatása, ill. kölcsönhatásaik sem vizsgálhatók szabatos kísérletekben. A termékenységet meghatározó főbb talajparaméterek mint a kötöttség, reakcióállapot, humusz és tápanyagtartalom közül csak az utóbbi változtatható oly módon, hogy a többi tényező konstans maradjon. A tápanyagellátottsági kezelések vagy szintek beállíthatók egy talajon anélkül, hogy érdemben megváltozna a talaj egyéb jellemzője (kötöttsége, humuszállapota, stb), legalábbis rövidtávon.

A másik, látszólag kézben tartható tulajdonságnak a reakcióállapot tűnhetne. Valójában azonban már nem lehet egy savanyú talajból pl. 10 vagy 20 % CaCO_3 -ot tartalmazó talajt előállítani. Ilyen "kezelés" beállítható technikailag tenyészedényben, azonban a kezelt talaj nem vethető össze a kontroll talajjal. A "kezelés" egy új keveréket eredményez, már a meszezés által okozott hígulás következtében is, nem említve a talaj teljes fizikáját, kémiaját stb. Az ily módon "kezelt" talajnak pl. megváltozik egyidejűleg a kötöttsége, humusz- és tápanyag-

tartalma stb. Hasonlóképpen megszűnne az eredeti talaj a kötöttség vagy a humusz szintjeinek "beállításával", még ha technikailag mindez megvalósítható lenne is.

A talajtulajdonságok közötti összefüggéseket, valamint a mért talajparaméterek és a termesztett növények jellemzői közötti kapcsolatokat ezért gyakran a táblasoros felvételezések nagyszámú adatain elemezzük. Ezekben a vizsgálatokban, felvételezéseknél a kutató nem az aktív beavatkozásra, hanem a természeti tényezők sokoldalú megfigyelésére és számszerű regisztrálására törekszik. A természeti jelenségek ilyen elemzését, a kutatás e típusát Ferrari (1965) "vizsgálatok beavatkozás nélkül" fogalomkörbe sorolta, megkülönböztetve a szabatos, aktív beavatkozáson alapuló kísérletektől. A szabatos kísérletekkel szemben a passzív megfigyelés, ill. felvételezés módszerét az alábbiak jellemzik:

- előzetes hipotézisekhez nem kötődik, a hipotézis az adatokból következik;
- a megfigyelhető tényezők száma nem korlátozott, megválasztásuk szabad;
- a vizsgálat természetes, változatlan körülmények között folyik;
- fontos a számba veendő tényezők heterogenitása, a szükséges variációk jelenléte, a mintaanyag reprezentatív ereje és nagy száma;
- a vizsgálat legnehezebb eleme a kiértékelés, az adatok szakmai értelmezése. A kutató általános háttérismeretein túlmenően a számítástechnikai bázis elengedhetetlen.

Mind az aktív kísérletes, mind a passzív felvételezés módszerének megvan a maga korlátai és veszélyei, melyeket a kutatónak ismernie kell. A két módszer ugyan sok szempontból ellentétes elvekre épül, mégis kiegészítik egymást és a kutatás együtt alkalmazza. A passzív felvételezések az agrokémiai kutatásokban leginkább arra irányulnak, hogy áttekintést nyerjünk egy ország vagy régió talajainak állapotáról, a rajtuk termő növények tápláltsági helyzetéről, valamint a talaj és a növény közötti számszerű kapcsolatokról. Alapvető fontosságúak azonban a termőhely-kutatásokban és az összehasonlító vizsgálatokban, melyek új tudományos ismeretek megszerzésére irányulnak, mint pl. a növény- és talajvizsgálati optimumok és határtartományok felderítése. E tekintetben részben az egzakt kísérleteket is helyettesíthetik.

Így pl. Keresztény és munkatársai (1979) a talaj könnyen felvehető Mn tartalmának "kalibrálását" kísérlik meg a különböző termőhelyeken kapott kukoricalevél Mn tartalmának ismeretében. Sarkadi (1962) az őszi búza tápelemfelvételére ható környezeti tényezőket elemzi Magyarországon. Gusenleitner (1972, 1974, 1978) a burgonya, kukorica és a búza tápelemellátottságát vizsgálja a rutin táblasoros talaj- és növényelemzési adatok felhasználásával Ausztriában. Schachtschabel (1973) a talaj különböző módszerekkel meghatározott könnyen oldható P-tartalmának és a fiatal zabnövény P-tartalmának összefüggését taglalja táblasoros adatok alapján Németországban.

Az egyiptomi talajok és növények Fe, Mn, Zn és Cu ellátottságáról El-Damaty et al. (1971, 1973), Ghanem et al. (1970) és Elsokkary (1974) közölnek ilyen módon adatokat. Elsokkary és Lag (1980) a vizsgálatokat már nehézfémekre is kiterjesztik. Hasonlóképpen a passzív megfigyelés módszeréhez tartoznak az üzemi táblasoros adatok bázisán folyó statisztikai elemzések, melyek az egyes növények termését befolyásoló tényezőket kísérlik meg felderíteni. Erre jó példa

Sváb és Simits (1980) munkája, akik a napraforgó nagyüzemi termelését meghatározó agrotechnikai beavatkozások és termőhelyi tényezők biometria vizsgálatát végzik el. A különböző talajjal vagy különböző helyen beállított kísérletsorozatok összevont értékelésénél a kísérletezés és a passzív megfigyelés módszerét gyakran együtt alkalmazzuk (Bronner 1969, Müller 1977, Kádár és Lásztity 1979b, Thamm 1980).

Amint látható, ezek a kutatások különösen előtérbe kerültek az utóbbi néhány évtizedben. Ennek egyik oka, hogy kiépültek a modern vizsgáló laboratóriumok és működnek a nagy teljesítményű automata rendszerek. A szaktanácsadás során egyre több mintát egyre több paraméterre vizsgálunk meg. Annak ellenére azonban, hogy ismereteink rohamosan gyarapodtak a talajról és a növényről, az újabb talaj- és növényelemzési jellemzők közötti kapcsolatok jelentős részben nem tisztázottak. Valójában nőtt a szakadék a technikai lehetőségek és tudományos ismereteink között. A szabatos kísérletezés volumene nem követte a nagyságrendekkel megnövekedett analitikai aktivitást. Az adatok értelmezése nehézségekbe ütközik. Ezt az űrt próbálja enyhíteni a passzív módszer, részben enyhítve a kísérletek hiányát és segítve a szaktanácsadást.

8.2 Az eredmények értékelése

A továbbiakban saját vizsgálataink alapján mutatjuk be a módszer előnyeit és hátrányait, lehetőségeit és korlátait. 1975 tavaszán talaj- és növénymintákat gyűjtöttünk a FAO felkérésére az ország egész területéről, üzemi táblákról és kisebb részben szabadföldi kísérletek parcelláiról. A talajmintavétel a szántott rétegből történt rozsdamentes botfúróval 20-25 pontminta egyesítésével. Egyidejűleg ugyanazokról a mintavételi helyekről növénymintákat is vettünk. Az őszi búzát a bokrosodás végén, a kukoricát pedig 4-6 leveles állapotban mintáztuk (Kádár - Elek - Fekete 1983).

A mintákat részben a MÉM NAK laboratóriumai vizsgálták meg a szokásos paraméterekre. A növények elemzése 11 elemre terjedt ki. A talajmintákban az MTA TAKI meghatározta az Olsen-P, valamint a DATE Kémiai Tanszéke Loch Jakab irányításával a vizes-P tartalmakat is. A vizes kioldás 2 órás rázatással történt 1:20 talaj/víz arány mellett. A táblatorzskönyvi és egyéb adatok felvételezése az alábbiakra terjedt ki: mintavétel helye és ideje; növény faja és fajtája; trágyázás, esetleges meszezés vagy öntözés ideje és módja, valamint mértéke; elővetemény vagy forgó; növényvédelmi beavatkozások; növényállományra vonatkozó megfigyelések; talajtípus és változat megnevezése.

Amint a 8.1 táblázatból látható, a mintavételi helyek hazánk főbb talajtípusait mindkét növény esetében reprezentálják. A legtöbb mintavétel a három hazai főtípusra esett (csernozjom, réti, valamint erdő talajokra) és egyaránt érintette a Dunántúlt, Duna-Tisza köze és a Tiszántúlt területeit. A talajtípusok megoszlását csupán tájékoztató jelleggel közöljük. A talaj- és növényvizsgálati adatok közötti összefüggések elemzése során ugyanis a típus már nem szerepel, mivel nem táblaszinten mérhető számszerű jellemző. Másrésről egy típuson belül (mint pl. a "réti" vagy a "csernozjom") a tábla vagy táblarész talaja egyaránt

lehet kötött vagy laza, meszes vagy savanyú, tápanyagokkal jól vagy rosszul ellátott stb.

8.1 táblázat: A mintavételi helyek talajtípusai és előfordulásuk száma
Mintavétel: 1975. tavasz (Kádár-Elek-Fekete 1983)

Talaj típusa	Kukorica alatt	Búza alatt	Összesen
Humuszos homok	4	8	12
Csernozjom	16	12	28
Réti csernozjom	9	10	19
Réti talaj	17	15	32
Csernozjom barna erdőtalaj	9	4	13
Barna erdőtalaj	12	16	28
Humuszos öntéstalaj	3	5	8
Réti szolonyec	2	3	5
Összesen	72	73	145

Egyet kell értenünk Várallyay és munkatársai (1980) azon megjegyzésével, hogy: "Ha a talajtípusok a talajtermékenység szempontjából fontos tulajdonságok tekintetében ilyen széles spektrumban oszlanak meg, természetesen nem lehet közvetlen összefüggés a talajtípus és a talaj termékenysége között." Az említett szerzők Magyarország termőhelyi adottságait vizsgálva jutottak erre a megállapításra. Természetesen a típus ismerete fontos, hiszen a talajképződés és anyagforgalom típusát jelölheti, és mint háttérinformáció segíthet megérteni a mérhető tulajdonságok közötti mélyebb kapcsolatokat.

A mintavételi helyek talajai a 8.2 táblázatban bemutatott jellemzőket tekintve jelentősen eltértek egymástól. A talajok reakcióállapotában (pH és CaCO_3 tartalom), kötöttségében (K_A , hy), humusz- és tápanyagtartalmában egyaránt a szélsőséges értékek is képviselve vannak. A CV értékek, a variációs együtthatók általában a 30 %-ot jelentősen meghaladják. Ez alól csak a pH és a kötöttség jelent kivételt, melyek szórása a talajban természetesen mérsékeltebb statisztikai szempontból. A mintaszám nem pontosan azonos a különböző vizsgálatokban. A többéves munka során egyes minták elfogytak vagy elveszhettek.

A mintavételi helyek növénytakarójának jellemzését az ásványi összetétel alapján végeztük. Amint a 8.3 táblázatból kitűnik, a CV értékek lényegesen kisebbek a TVG paraméterek többségénél. A növényi tápelemtartalom változása élettanilag behatárolt. A legkisebb CV %-okat a N, P, K képviseli 15-24 %-kal, míg kiugróan nagy a Fe és Mo szórása 100 feletti CV %-kal. Ismeretes, hogy a növényminták előkészítése és analízise során éppen e két elem tekinthető kritikusnak. A daráláskor fellépő Fe szennyeződés, valamint az igen kis koncentrációban jelen levő Mo tartalom meghatározása okozhat hibákat. A 4-6 leveles korú kukorica, valamint az őszi búza bokrosodás végén található tápelem tartalma (beleértve a minimum, maximum és átlagértékeket, úgyszintén az irodalmi

optimumokat) ebben a fejlődési stádiumban meglehetősen közelállóak, ebből adódóan együtt szerepelnek az összefüggés-vizsgálatokban.

8.2 táblázat: A mintavételi helyek talajainak vizsgált jellemzői a szántott rétegben
Mintavétel: 1975. tavasz (Kádár-Elek-Fekete 1983)

TVG paraméterek	n	\bar{X}	min.	max.	s	CV %
pH(H ₂ O)	143	7.0	4.9	8.1	0.9	12
pH(KCl)	145	6.3	3.4	7.7	1.1	17
CaCO ₃ %	145	4.0	-	51.1	7.4	188
y ₁	145	5.0	-	22.8	4.9	97
K _A	141	39.1	24.0	62.2	6.7	17
hy	143	2.6	0.3	6.9	1.2	45
Humusz %	145	2.6	0.4	5.5	1.0	40
H ₂ O-P ₂ O ₅ ppm	127	23	4	80	17	73
Olsen-P ₂ O ₅ ppm	145	58	10	237	37	63
AL-P ₂ O ₅ ppm	144	182	18	1920	247	136
AL-K ₂ O ppm	144	267	52	1200	161	60
KCl-Mg ppm	132	352	10	1230	247	70
EDTA-Mn ppm	132	185.7	7.1	694.6	151.9	82
EDTA-Zn ppm	133	2.4	0.2	11.2	2.0	86
EDTA-Cu ppm	133	4.0	0.3	15.9	2.9	71

8.3 táblázat: A mintavételi helyek növénytakarójának ásványi összetétele
Bokrosodáskori őszi búza és a 4-6 leveles kukorica hajtása együtt kezelve
(Kádár-Elek-Fekete 1983)

Tápelemek	n	\bar{X}	min.	max.	s	CV %
N %	123	4.51	2.51	6.09	0.68	15
K %	123	3.75	1.48	5.64	0.81	22
Ca %	145	0.60	0.30	1.19	0.20	33
P %	123	0.44	0.26	0.98	0.10	24
Mg %	145	0.28	0.10	1.07	0.15	53
Fe ppm	145	552	85	4350	692	125
Mn ppm	145	91	27	429	50	54
Zn ppm	145	30	14	78	11	36
Cu ppm	145	11.1	5.1	20.6	3.7	34
B ppm	145	5.3	2.2	12.8	2.0	38
Mo ppm	144	0.5	0.02	3.1	0.5	103

A talajtulajdonságok, valamint a műtrágyázás és a növényelemzés adatai között első közelítésben lineáris korrelációkat vizsgálva megállapítottuk, hogy a talajok kötöttsége és humusztartalma között meglehetősen szoros ($r=0.77$), míg a kötöttség és az AL-K tartalom között laza ($r=0.38$) összefüggés áll fenn. Az AL-K és a növényi K %, valamint az AL-P és a növényi P % összefüggése savanyú talajokon mindkét növénynél bizonyítható volt 1 %-os szinten. A felhasznált műtrágya mennyisége és a növényi NPK %-ok közötti kapcsolat elhanyagolhatónak mutatkozott. Az őszi búza és a kukorica betakarításkori szemtermése, valamint a talajok felvehető P-tartalma szintén nem mutatott érdemleges összefüggést.

Megkíséreltük a talaj különböző módszerekkel meghatározott felvehető P-tartalmát a termőhelyek megelőző 3 évének termésével, valamint a növényi P %-okkal tesztelni. A talajok P-tartalma és a növényi P % kapcsolatát elemezve az adatokat többféleképpen csoportosítottuk: külön a búza, külön a kukorica, búza + kukorica együtt, búza + kukorica az 1 % CaCO_3 feletti és alatti talajokon, valamint búza + kukorica a meszes és nem meszes csoportban. Utóbbi esetben a 2 %-nál kevesebb CaCO_3 -ot tartalmazó és a 4 alatti y_1 értékű talajokat mindkét helyen szerepeltettük (8.4 táblázat).

8.4 táblázat: A talaj felvehető P-tartalma és a növényi P %, valamint a mintavételi helyek előző 3 éves átlagtermése közötti lineáris összefüggések (Kádár-Elek-Fekete 1983)

Növényi jellemzők	n	AL-P	Olsen-P	H ₂ O-P
Búza szemtermése, t/ha	60	0.27*	-0.03	0.17
Kukorica szemtermése, t/ha	56	-0.04	-0.08	-0.15
Búza hajtás P %-a	60	0.06	0.40**	0.45***
Kukorica hajtás P %-a	56	0.60***	0.67***	0.27*
Búza+kukorica P %-a	116	0.38***	0.53***	0.33***
$\text{CaCO}_3 > 1$ % talajon	38	-0.18	0.18	0.30
$\text{CaCO}_3 \leq 1$ % talajon	78	0.65***	0.65***	0.35**
Meszes talajokon	57	0.03	0.46***	0.42***
Nem meszes talajokon	86	0.56***	0.57***	0.31**

Megjegyzés: A 2 %-nál kevesebb CaCO_3 tartalommal és 4.0 alatti y_1 értékkel rendelkező talajok mind a meszes, mind a nem meszes csoportban szerepelnek.

* 95 %-os, ** 99 %-os, *** 99.9 %-os szinten szignifikáns összefüggés

Az így képzett hét lehetséges csoportban az AL-módszer 4, a vizes módszer 5, míg az Olsen módszer 6 esetben mutatott legalább 1 %-os szinten megbízható összefüggést a növényi P %-kal. Legjobban tehát az Olsen-módszer jellemezte a talajok P szolgáltatását, megerősítve ezzel korábbi kísérletes vizsgálataink tapasztalatait. Az összefüggések lineáris korrelációkkal jellemezhetők voltak. Amint láttuk, a TVG adatok tesztelésére nem a szemtermés mutatkozott

alkalmasnak, hanem a növényi koncentráció. A szemtermést ugyanis túl sok egyéb tényező befolyásolhatja, mint pl. a különféle agrotechnikai beavatkozások minősége, éghajlati extrémítások a szemfejlődés idején, kórokozók és betegségek fellépése stb. A korai mintavételekkel ezek a hatások még jelentős részben elkerülhetők.

A továbbiakban a TVG és NVG eredmények közötti korrelációkat különböző nem-lineáris közelítéssel vizsgáltuk. Majd megkíséreltük adatainkat a termékenységet meghatározó főbb talajtulajdonságok mint a kötöttség, pH, CaCO_3 , humusz és tápelemellátottsági kategóriák szerint csoportosítani és értelmezni (Kádár és Elek 1987-1988). A 8.5 táblázatban a TVG és NVG adatok között néhány kétváltozós összefüggés szorosságára utaló korrelációs együtthatót mutatunk be. Amint látható, a hazai szaktanácsadásban vizsgált könnyen felvehető Mn tartalom pl. gyakorlatilag semmiféle összefüggést nem mutatott a fiatal növények Mn-tartalmával. A talaj EDTA-Mn tartalma önmagában tehát feltehetően nem alkalmas a Mn trágyázás szükségességének elbírálásához.

Mint ismeretes a Mn felvehetőségét számos tényező befolyásolja. A növények elsősorban a két vegyértékű mangán iont hasznosítják. A redukciós viszonyok, mint pl. a pH csökkenés, oxigénhiány stb. ezért rendszerint a felvehető Mn formák felhalmozódását eredményezhetik a talajban és a növényben is. A Mn hiánya legtöbbször a laza és meszes, míg túlsúlya a kötöttebb és savanyú talajokon gyakori. Az EDTA-Mn határértékeket ebből adódóan a talaj pH viszonyai, valamint a kötöttség függvényében állapítjuk meg a szaktanácsadás során (Műtrágyázási irányelvek 1979). A talaj EDTA-Mn, valamint a növényi Mn tartalom kapcsolatát tehát a talaj kötöttsége, ill. a reakcióállapota szerinti csoportosítás adatain is ellenőriznünk kell.

Nem találtunk érdemi összefüggést a talaj felvehető Mg tartalma és a növényi Mg % között sem. A magnézium hiánya főként a savanyú, erősen kilúgzott homokos talajokon gyakori, ahol egyébként is kevés a Mg az adszorpciós komplexumban. Másodlagosan felléphet Mg-hiány a Ca túlsúlyakor meszes talajokon, ill. tartós és intenzív K műtrágyázás nyomán a K-Mg ionantagonizmus eredményeképpen. Akadályozhatja a Mg felvételét az alacsony pH miatt felszaporodó Mn, Fe, Al és egyéb nehézfémek túlsúlya a talajban. A fentebb taglalt Mn-hoz hasonlóan a TVG és NVG Mg eredményeket elsősorban a talajok kötöttsége és részben a reakcióállapota szerint kellene értelmezni. Figyelembe veendő lenne esetleg a talaj túlzott K-ellátottsága is a szaktanácsadásban.

Nem volt érdemi kapcsolat a TVG és az NVG eredmények között a Cu esetében sem. A hazai szaktanácsadásban a humusz és a talaj kötöttsége függvényében alakítottuk ki előzetes határértékeinket a talajok Cu ellátottságának, ill. a Cu trágyázás szükségességének elbírálásához. A réz hiánya elsősorban a lápokon és a meszes homokokon fordul elő hazai viszonyaink között. A Cu felvételét a magas szervesanyag-tartalom, valamint az intenzív és tartós N-trágyázás is csökkentheti. A TVG eredmények értelmezésekor tehát egyéb talajtulajdonságoknak, elsősorban a kötöttségnek és a humusznak, valamint a N trágyázás gyakorlatának és múltjának figyelembevétele indokolt.

8.5 táblázat: A talaj- és növényvizsgálati adatok közötti összefüggések korrelációs együtthatója (r) különböző közelítés mellett
Mintavétel: 1975. tavasz (Kádár és Elek 1987-1988)

TVG jellemzők x	NVG jellemzők y	Minták száma n	Lineáris függvény $y=a+bx$	Másodfokú parabola $y=a+bx+cx^2$	Harmadfokú parabola $\dots+dx^3$	Reciprok függvény $x=a+b.1/x$	Hatvány függvény $y=ax^b$	Exponenc. függvény $y=ab^x$	Log. függvény $y=a+\ln(x)$
A. Talaj (x) és növény (y) paraméterek között									
EDTA-Mn	Mn ppm	132	0.00	0.02	0.15	0.04	0.06	0.04	0.04
KCl-Mg	Mg %	129	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.05
EDTA-Cu	Cu ppm	133	0.03	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.03
Humusz	N %	123	0.16	0.16	0.19	0.17	0.16	0.15	0.17
CaCO ₃	Ca %	145	0.26	0.32	0.35	0.25	0.00	0.22	0.00
AL-P	P %	122	0.37	0.38	0.39	0.31	0.35	0.32	0.36
H ₂ O-P	P %	106	0.38	0.39	0.40	0.38	0.44	0.41	0.40
AL-K	K %	122	0.42	0.43	0.43	0.29	0.37	0.38	0.40
Olsen-P	P %	123	0.55	0.57	0.59	0.42	0.48	0.49	0.48
B: Talaj (x) és talaj (y) paraméterek között									
AL-P	Olsen-P	144	0.60	0.69	0.69	0.54	0.71	0.48	0.70
H ₂ O-P	Olsen-P	127	0.72	0.72	0.72	0.58	0.82	0.78	0.70
pH _(KCl)	pH _(H₂O)	143	0.97	0.97	0.97	0.96	0.97	0.97	0.97

A humusz és a növényi N tartalom összefüggése lazának mutatkozott. A kapcsolatokat a harmadfokú parabola függvény írta le a legpontosabban ($r=0.19$). Ma már a talajok N szolgáltatását döntően trágyázással befolyásoljuk. Bármilyen humusztartalommal rendelkező talajon előidézhetünk relatív N-hiányt, illetve trágyázással N-túlsúlyt. Másrészt az is ismert, hogy ugyanaz az abszolút humusztartalom mást jelent egy laza talajon, mint egy kötött talajon. Amikor a talaj humuszának ismeretére alapozva becsüljük egy termőhely N-szolgáltatását a szaktanácsadásban, a talajok kötöttsége szerint a határértékek módosulnak. Mindez azonban nem nyújthat elégséges információt. Egyéb szempontokat, mint pl. a felső talajrétegek ásványi N-készlete, elővetemény hatása stb. is tekintetbe kell vennünk a N-igény megállapításakor.

A talajok CaCO_3 tartalma és a növényi Ca % között már kifejezettebb, bár gyenge összefüggést kaptunk. A harmadfokú parabola adta viszonylag a legszorosabb illesztést ($r=0.35$). Minél meszebb a talaj, várhatóan annál magasabb lehet a rajta termő növény Ca %-a. A kalcium felvehetőségét nemcsak a talaj mészs-állapota ill. Ca-tartalma, hanem más kationok jelenléte is befolyásolja. Így pl. a kationok közül kifejezett antagonisták a NH_4 , K, Na és Mg kationok, melyek nagyobb mennyiségben fordulhatnak elő a talajban és a talajoldatban. Ismert, hogy a talaj mészs-tartalma csak egy határig növeli a növény Ca felvételét. A túl magas Ca-szint már minden ion felvételére gátlólag hat (membránok zárása), így magára a Ca felvételére is hátrányos lehet. A talaj-Ca abszolút mennyisége gyakran nem is meghatározó, inkább a talajban való eloszlása, aktivitása. A rutinvizsgálatoknál erre nem vagyunk tekintettel.

Az AL-P és a növényi P % összefüggése gyenge-közepesnek mondható. Még a harmadfokú parabola illeszkedése is csak $r=0.39$. Ezt követte a vizes-P ($r=0.40$), majd a NaHCO_3 -P, azaz az Olsen-P ($r=0.59$). A hazai szaktanács-adásban az AL-módszer a szabvány, amelynek határértékeit alapvetően a talajok mészs-állapota függvényében módosítjuk. Amennyiben e módszer nem megfelelően kalibrált az egyéb talajtulajdonságok függvényében, úgy nagy hibával terhelt és a legkevésbé megbízhatónak tűnik más módszerekhez viszonyítva. Erre már utaltunk a 8.4 táblázat taglalása kapcsán is.

A kálium esetén szintén gyenge-közepes ($r=0.43$) kapcsolatot találtunk az AL-K és a növényi K között. A talajok K-szolgáltatását kötöttségük alapvetően befolyásolja. Ezért szaktanácsadásunkban az AL-K határkoncentrációkat a talajok kötöttsége szerint kategorizáltuk. Az AL-módszer ugyanis a talajok K készletének csak egy részét képes jelezni. A talaj felvehető és nem felvehető K formái azonban dinamikus egyensúlyban vannak és szerepet játszanak a növények táplálásában. A hazai szabadföldi kísérletek tapasztalatai szerint minél kötöttebb a talaj, annál kevésbé számíthatunk K-hatásokra. A kifejezetten agyagos talajainkon pl. a K-hatások gyakran még a K igényes kapásnövényeknél is elmaradnak, a tartós monokultúrák termesztés esetét kivéve. (Lásd a kompolti, karcagi kísérletek eredményeit. Kadlicskó et al. 1988, Krisztián et al. 1988 stb.)

A talaj x talaj paraméterek közötti összefüggések már kifejezettebbek. Az AL-P és az Olsen-P kapcsolata közepesen szoros ($r=0.71$), a vizes-P és az Olsen-P összefüggése szoros ($r=0.82$), míg a $\text{pH}(\text{KCl})$ és a $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ értékek közötti korreláció igen szoros ($r=0.97$) volt. Utóbbi azt is jelenti, hogy nem szükséges, ill. nincs értelme mindkét pH értéket meghatározni. A hatvány függvény általában jobb illeszkedéssel írta le a kapcsolatokat a TVG paraméterek között, míg a harmadfokú parabola a TVG és a NVG jellemzői között. A 8.5 táblázatból azonban az is látható, hogy a kétváltozós lineáris függvény tájékoztató jelleggel szintén megfelelően jellemezheti az összefüggések szorosságát.

A 8.6 táblázatban adatainkat példaképpen a talaj kötöttsége szerint csoportosítottuk. A homokos talajokat reprezentáló 30 K_A érték kategóriába 14 termőhely került, míg a homokos vályog kategóriába ($K_A=30-38$) 56, a vályogba ($K_A=39-43$) 45, az anyagos vályogba ($K_A=43-50$) 20 és az agyagos talajok ($K_A=50$ felett) közé 9. Amint a táblázatból látható, a talajok kötöttségével nőtt a pH és az átlagos mésztartalom. Az ásványi talajok kötöttsége és higroszkóposága (hy) összefügg egymással, ez a pozitív kapcsolat itt is szembeötlő. A kötöttség és a pH közötti pozitív összefüggés az átlagos mésztartalom emelkedésén túl részben azzal is magyarázható, hogy a kötöttebb talajok több kolloidot tartalmaznak. Ebből eredően nagyobb pufferkapacitással, az elsavanyodás elleni nagyobb stabilitással rendelkeznek. A várakozásnak megfelelően emelkedik a humusztartalom is a talaj kötöttségével.

A kötöttebb talajok nagyobb tápelemkészlete tükröződik az AL-P és AL-K tartalmakban. Az AL-K határértékeket a kötöttség szerint állapítjuk meg a szaktanácsadásban, így a korrigált K-ellátottság már nem jelezne javulást. Nem változik ezért érdemben a növényi K % sem. Az AL-P határértékeket a mészállapot szerint korrigáljuk, a magasabb AL-P tartalmak a kötöttséggel párhuzamosan emelkedő mészre utalnak. A vizes és az Olsen módszerrel meghatározott felvehető P tartalom ugyanis érdemben nem változik. A növényi P %-ok sem nőnek a kötöttséggel.

A talaj könnyen oldható Mg tartalma kifejezetten nőtt a kötöttséggel, ill. a talajok mésztartalmával. A Ca és a Mg vegyületek a talajban általában együtt fordulnak elő. A mikroelemek közül a felvehető Zn mennyisége enyhén, míg a Cu tartalom meredeken emelkedett. A növényben mért Zn és Cu koncentrációja azonban érdemben nem változott. Úgy tűnik, hogy az EDTA-Cu adatok önmagukban nem alkalmasak a talaj Cu-ellátottságának megítélésére. Kísérletesen kell majd tisztázni, hogy a határértékek miképpen pontosíthatók a talaj kötöttsége, ill. esetlegesen a mészállapot függvényében.

Mind a talaj felvehető Mn tartalma, mind a növényi Mn koncentráció nagy szórást és bizonytalanságot mutatott. Az erősen kötött és meszes ($n=9$) talajon ugyan alacsony Mn tartalmak jelentkeztek mind a talajban, mind a növényben, ezek azonban a populáció egészét tekintve nem voltak mérvadók. Kifejezetten nőtt viszont a Mo koncentrációja a növényben a talaj kötöttségével és mésztartalmával. Ismert, hogy a mikroelemek többségével ellentétben a Mo felvehetőségét javítja a talaj javuló mészállapota.

A talaj kötöttségével (és mészállapotával) bekövetkező tápláltsági állapot változásáról legkifejezettebben a Mn/Mo, K/Mn, K/Mo elemarányok tanúskodnak. A

Mn túlsúlya a Mo-hoz viszonyítva pl. hatszor olyan tág savanyú homokon, mint az erősen meszes agyagon. Hasonlóképpen mintegy kétszeresére nő a K/Mn aránya az agyagon. A kálium molibdénhez viszonyított túlsúlya viszont 1/3-ára csökkent ugyanítt.

8.6 táblázat: A TVG és NVG eredmények csoportosítása a talaj kötöttsége (K_A értékek) alapján. Mintavétel: 1975. tavasz

Talaj- és növényvizsg. jellemzők	Arany-féle kötöttségi szám értékei, K_A				
	30 alatt (n=14)	30-38 (n=56)	38-43 (n=45)	43-50 (n=20)	50 felett (n=9)
A. Talajvizsgálati adatok átlagai					
pH(H_2O)	6.4	6.9	7.4	7.0	7.2
pH(KCl)	5.6	6.2	6.6	6.2	6.3
$CaCO_3$ %	2.1	3.1	3.7	5.4	10.0
y_1	6.7	5.0	3.9	6.3	5.5
K_A	26.5	35.2	40.4	46.0	55.0
h_y	1.6	1.8	3.0	3.5	4.8
Humusz %	1.8	2.1	3.2	3.1	3.3
$H_2O-P_2O_5$ ppm	29	26	18	25	22
Olsen- P_2O_5 ppm	60	60	53	61	58
AL- P_2O_5 ppm	131	158	174	288	216
AL- K_2O ppm	216	212	316	319	331
KCl-Mg ppm	237	218	419	546	582
EDTA-Mn ppm	172	178	232	156	69
EDTA-Zn ppm	1.9	2.3	2.1	3.2	2.7
EDTA-Cu ppm	2.4	2.9	4.3	6.3	6.9
B. Növényelemzési adatok csoportátlagai					
N %	4.35	4.63	4.48	4.55	4.15
K %	3.63	3.71	3.84	3.66	3.89
Ca %	0.54	0.62	0.60	0.56	0.63
P %	0.40	0.46	0.45	0.43	0.41
Mg %	0.28	0.26	0.30	0.30	0.28
Fe ppm	391	584	591	610	279
Mn ppm	113	98	92	69	60
Zn ppm	28	32	30	29	31
Cu ppm	10	11	12	12	11
B ppm	4.2	5.3	5.8	4.9	4.6
Mo ppm	0.3	0.4	0.5	0.7	1.0
Mn/Mo	377	245	184	99	60
K/Mn	323	379	417	532	648
K/Mo	121.667	92.750	76.800	52.429	38.900

Összefoglalva vizsgálataink főbb tanulságait az alábbi általánosítható következtetéseket vontuk le:

1. A talaj termékenységét hordozó alaptulajdonságok összefüggenek, általában a talajok kötöttségével együtt nő azok humusz, CaCO_3 és tápelem készlete is a vizsgált talajokon.
2. A talajok tápelemellátottságának ill. a növények trágyaigényének becslésekor a TVG adatokat úgy kell csoportosítani, hogy az ellátottsági kategóriákat a legfontosabb alaptulajdonságok (K_A , pH, CaCO_3 , humusz) függvényében értelmezzük. Ez a törekvés segíthet a hatékonyabb szaktanácsadás megalapozásában, feltételezi azonban a talajtermékenységgel kapcsolatos alapösszefüggések mélyebb ismeretét.
3. Újból igazolást nyert, hogy az AL-P adatok a pH és a CaCO_3 tartalomnak függvényei, ill. a kötöttség növekedésével is nőhet értékük és az így becsült P-ellátottság. Az Olsen-P értékeit ezek a talajtulajdonságok lényegesen nem befolyásolják. További kalibrációs kísérletek szükségesek az AL-P határértékek pontosítása céljából.
4. A homokos, laza szerkezetű talajok általában nemcsak tápanyagokban a legszegényebbek, hanem gyakran mészhiányosak és kis pufferkapacitásuk révén az elsavanyodásra is érzékenyek. A vizsgált savanyú talajok nagy része melioratív meszeztést igényelne. Az összes termőhelyet tekintve meszezésre szorulhat a talajok közel 1/3-a, amennyiben a növénytermesztés biztonságos feltételeit fenn kívánjuk tartani.
5. A termőhelyek egy részén az AL-K tartalma ill. a talajok K-ellátottsága olyan magasnak bizonyult, amely már termékenységüket veszélyeztetheti. Hasonló jelenséget tapasztaltunk a P-ellátottság esetén is. Ezeken a táblákon a túltrágyázás gyakorlatát meg kell szüntetni.
6. A vizsgálatba vont 145 termőhely országos, reprezentatív erejét növelte, hogy részét képezte a FAO számára gyűjtött 250 mintának. Megállapításaink összhangban voltak a FAO vizsgálatok (Sillanpää 1982), valamint a MÉM NAK országos felméréseinek (Elek és Patócs 1984) eredményeivel. A FAO által 30 ország bevonásával elvégzett nemzetközi összehasonlító vizsgálatok szerint is a magyar búza és kukorica minták tápelemtartalma igen magasnak bizonyult a makroelemek tekintetében, alacsonynak mutatkozott viszont a Zn tartalomban.

8.3 A DRIS módszer ismertetése

8.31 Elvi megfontolások

A DRIS kifejezés egy rövidítést takar, a Diagnózis és Szaktanácsadás Egységes Rendszere (angolul: Diagnosis and Recommendation Integrated System, DRIS) értelemben. Szerzője először gumifára dolgozta ki eljárását (Beaufils 1956), majd kukoricára is adaptálta Dél-Afrikában (Beaufils 1971). Módszerét általánosítva DRIS néven közölte később (Beaufils 1973). A szerző egyik követője Sumner (1977a, b, c, d) szerint a DRIS egy általános vizsgálati eljárás, amelynek segítségével nagy mennyiségű adatot lehet kezelni és értékelni. Ez a rendszer a növény, a talaj és a környezet számszerű jellemzésének módja, mellyel annyi terméshozamot és minőséget befolyásoló tényezőt vehetünk figyelembe, amennyi

a kvantitatív és kvalitatív jellemzéshez rendelkezésünkre áll. Módot nyújt az adatok összegyűjtésére, kezelésére, tárolására és a diagnózis készítésére.

Vizsgálataink célja a diagnózis felállítása, majd azt követően a terápia kidolgozása. A diagnózis az a tudományos eljárás, amelynek során valamely állapot okát vagy természetét vizsgálják. A diagnózis tehát oknyomozás. A növény-termesztésben ennek igen nagy jelentősége lehet. Időnként és helyenként nagy terméseket érhetünk el, míg más helyen és időben a termések alacsonyok maradnak. A diagnózis, a nagy terméseket létrehozó tényezők elemzése, az optimumok megállapítása (optimális hő-, fény-, tápláltsági viszonyok, talajtulajdonságok) lehetőséget ad a megalapozott beavatkozásra. Először azonban meg kell ismernünk az optimumokat, a növényi "normákat", legyenek azok klimatikus, talajtani vagy agrotechnikai természetűek.

Szántóföldi viszonyok között egyes tényezők nem szabályozhatók, mint pl. a fény és a hőmérséklet. Azt kell elfogadnunk, ami az adott tenyészidő alatt a növény rendelkezésére áll. Törekedni kell azonban eme tényezőket is mérni és feljegyezni a környezet számbavételekor, egy adott helyen fenntartható vagy elérhető termés becslésekor. Bizonyos körülmények között ugyanis az említett tényezők korlátozók lehetnek. Más tényezőket, mint pl. az agrotechnikát kézben tarthatjuk. Utóbbi beavatkozásokat szintúgy számszerűen nyomon kell követni, mint a nem vagy csak részben szabályozhatókat. Az a cél, hogy minél több tényezőt minél pontosabban és több számszerű paraméterrel jellemezzünk, amelyek a DRIS rendszer adatbázisát képezhetik.

A termés nagysága a minimumban levő tényezők szintjéhez igazodik. A DRIS rendszerben felvett paramétereket kalibrálni kell, megismerni összefüggéseiket a terméssel, megbecsülni az optimumokat. A már megismert normák vagy optimumok a szerzők szerint általános érvényűek, extrapolálhatók, helytől és időtől függetlenül adott növényfajra igazak. Felhasználhatók ezt követően bárhol a diagnózis és az arra épülő szaktanácsadás céljaira. Sumner (1977b) erről így ír a kukorica levélanalízise kapcsán:

"Minthogy ez a rendszer átfogó és forradalmi, feltétlenül jelentős idő szükséges ahhoz, hogy általánosan megértsék és elfogadják. E rendszer egyik fő előnye az, hogy ha már egyszer egy adott növényre standard normákat állapítottak meg a levélösszetétel alapján, azok arra a növényre alkalmazhatók lesznek, bárhol fejlődjön is vagy bármely szakaszában legyen a fejlődésnek."

A DRIS mint kalibrációs rendszer a számszerűen felvett termésbefolyásoló tényezőket index értékekkel jellemzi. Az indexek az egyes tényezőket minimum sorrendben (termést korlátozó jelentőségük sorrendjében) adják meg. Így magukban foglalják a kiegyensúlyozottság fogalmát is, utalnak a relatív tápelemhiányokra. A klasszikus határértékes módszerhez hasonlóan trágyaadagot közvetlenül természetesen nem határoznak meg. A trágyázási szaktanácsadás során viszont a második, harmadik minimumban levő elem is figyelembe vehető.

A közleményekből kitűnt, hogy növényanalitikai optimumokat először a főbb elemekre és növényekre állapítottak meg, mint a kukorica, búza, szója NPK tartalmára (Sumner 1977a, b, c, 1978, 1979). Megkísérelték a módszert hasznosítani a klímátényezők szerepének tisztázására is, a száraz periódusok negatív

hatásainak megítélésére. Beaufils (1971) említett cikkében azonban az eredményeket nem közli arra hivatkozva, hogy azok szabadsalom tárgyát képezik.

Kétségtelenül a módszer sokat ígérőnek tűnik és jelentős visszhangra talált itthon és általában világszerte. Valóban nem könnyű a tényezők minimum sorrendjének megállapítása. Különösen nem lesz az a jövőben, egyre újabb és újabb elemeket és paramétereket meghatározva. Ki kell dolgoznunk számítógépes programokat, hogy az adatok értelmezését egyszerűsíteni tudjuk. Meg kell ismernünk az optimumokat. A DRIS módszer lehetőséget kínált, hogy mindezen elvárásoknak jobban eleget tehessünk. Mivel a módszert átfogóan a hazai irodalomban nem írták le, adaptációjára és kritikájára kísérlet nem történt, ezért korábban már részletesen kitértünk ismertetésére (Kádár et al. 1981).

8.32 A módszer elemei és végrehajtása

A módszer első láncszeme az adatgyűjtés, mely a saját vizsgálatokon túl az irodalomban közölt adatokra is támaszkodhat. Így pl. Beaufils (1971) az 5 éven át végzett saját vizsgálatai eredményeiből becsült először optimumokat Dél-Afrikában kukoricára, az NPK tápelemekre. Majd a világ különböző tájain végzett kísérletek adatait összegyűjtve mintegy 22 ezer adat alapján pontosította a kukorica virágzás kori levelének tápelemtartalma és arányai, valamint a várható szemtermés összefüggését. Később Sumner (1977c) újab 6 ezer irodalmi adatot gyűjt az USA, Franciaország, Nigéria, Egyiptom és Dél-Afrika különböző publikált és még nem publikált anyagait felhasználva, hogy Beaufils (1971) következtetéseit ellenőrizze.

A mintavétel kapcsán a szerzők hangsúlyozzák, hogy csak egészséges és élettanilag aktív leveleket mintázhatunk az optimumok becslésére. A mintavétel részleteit azonban gyakran nem közlik. Így pl. Sumner (1977a) az USA-ban és Kanadában publikált mintegy 1100 adat alapján megkísérli a DRIS módszert adaptálni búzára. Összefüggést állapít meg a búza szemtermése és a zöld növény tápelemösszetétele ill. azok arányai között. Nem derül ki azonban a közleményből, hogy mely növényi részre vonatkozott a mintavétel, eltekintett-e a növény korától a normák megállapításánál stb.

A felvételezés céljaira üzemi táblák és kísérleti parcellák egyaránt megfelelhetnek. Követelmény az adatok lehetőleg minél nagyobb száma. A felvett jellemzőket (x) egyenként a szemterméssel tesztelik (y) és koordináta rendszerben ábrázolják. Az adathalmaz által képzett gúla csúcsa mutatja a nagy termést és az (x) tengelyen leolvasható a hozzá tartozó "kívánatos" összetétel, a norma. A gúlát burkoló görbét, mint határértéksávokat is felfoghatjuk, amelyek az ellátottság vagy más felvett paraméter kritikus értékeit (minimumok) jelölik a vonatkozó termésszintekre. Igen nagy termésekhez csak a szűk optimum (gúla csúcsa) tartozhat, míg az alacsony termésekhez pl. bármilyen tápelemarány vagy koncentráció (6.10 ábra kiszélesedő talpazati része).

Az optimumtól való távolságot fejezi ki a DRIS index az alábbi függvény szerint:

$$N_{\text{index}} = + \frac{f(N/P) + f(N/K)}{2} ; \quad P_{\text{index}} = - \frac{f(N/P) + f(K/P)}{2} ;$$

$$K_{\text{index}} = + \frac{f(K/P) - f(N/K)}{2} ;$$

$$\text{ahol } f(N/P) = \left[\frac{N/P}{n/p} - 1 \right] \frac{10}{CV} , \text{ ha } N/P \geq n/p$$

$$f(N/P) = \left[1 - \frac{n/p}{N/P} \right] \frac{10}{CV} , \text{ ha } N/P < n/p$$

N/P = a szaktanácsadás során mért érték

n/p = az N/P optimuma, a korábban megismert "norma"

CV = a nagy termésekhez tartozó tápelemösszetétel CV értéke

Az $f(N/K)$ és az $f(K/P)$ hasonló módon számítható. Az indexeknek pozitív és negatív értékei vannak, összegük azonban mindig nulla, mert az NPK elemek közötti relatív egyensúlyt mérik. A legnagyobb negatív szám jelöli a leginkább hiányzó tápelem mértékét, míg a legnagyobb pozitív szám a leginkább túlsúlyban jelen levő elemet. A tápelemhiány sorrendje, ill. rangsora pl. N index = -13, P index = -31, K index = 44 esetén az alábbi: $P > N > K$. Az indexek számítása technikailag egyszerű. Elvi problémaként merült fel, hogy a DRIS indexek mennyiben jellemezhetik a növény fejlődésének különböző szakaszait. A szerzők szerint (Beaufils 1971, 1973; Sumner 1977a, 1977b) a növény korával változhat ugyan a tápelemek koncentrációja, általában hígul, az arányokban azonban mindez kevésbé jelentkezik.

Ez a feltételezés elfogadható, amennyiben a vizsgálat valóban kizárólag a fiziológiailag aktív levélre vagy más zöld növényi szervre vonatkozik, valamint az említett három fő tápelemet érinti a fejlődés egy viszonylagos nyugalmi időszakában, pl. a virágzás előtti hetekben. Amint saját vizsgálataink is igazolták, nem állhat fenn ez az állapot az egész föld feletti növényre vonatkoztatva és egy hosszabb periódus alatt. A növény korával nemcsak a koncentráció, hanem az arányok is erősen változnak mind a kukoricában (Lásztity és Kádár 1979, Elek et al. 1979), mint a búzában (Lásztity és Kádár 1978, Kádár és Lásztity 1979b, 1981).

A DRIS szerzőinek állításával annyiban egyetérthetünk azonban, hogy a mintavétel a gyakorlatban akár néhány hétre is széthúzható a nyugalmi periódusokban anélkül, hogy az arányokra épülő diagnózist kérdésessé tenné. Ezt az őszi búza tavaszi mintavétele példáján kísérletesen is igazoltuk. Egy hónapon át, április eleje és május eleje közötti időszakban többször mintáztuk a búzát bokrosodásban, szabadföldi trágyázási kísérletben. Megállapítottuk, hogy a tavaszi N-fejtrágya szükséglet becslését az arányokra célszerű építeni, mert így a

mintavétel idejének elhúzódása az ellátottság megítélését kevésbé befolyásolja. A növényi koncentrációkban fellépő hígulás ugyanakkor oly mérvű lehet, hogy téves diagnózist eredményez. Így pl. az április elején jól ellátottnak ítélt parcellák állománya május elejére már csak közepesen ellátottnak minősült az N %-ok alapján (Kádár és Lásztity 1981, Kádár és Elek 1988).

A kukorica cső alatti vagy csővel szembeni levelének tápelemarányai a 8.7 táblázatban Beaufils (1971) által közöltek szerint becsülhetik a növény tápláltsági állapotát. Amint a táblázatból látható, az arányok széles határok között változhatnak, az optimum tartomány azonban szűk. Meg kell említeni, hogy más elemek esetében az optimum zóna tágabb lehet, mint az NPK fő tápelemeknél. Korábbi irodalmi összeállításunkból, melyben a virágzás elejei kukoricalevél optimumait vizsgáltuk kitűnt, hogy a kielégítő ellátottsági zónát jelző felső és alsó határkoncentrációk egymáshoz viszonyított arányai elemenként eltérőek. Az NPK esetében ez a mutató 1.4-1.7 között ingadozott, míg a Ca és Mg esetén 3, a Zn és Cu esetén 4, a Fe esetén 5, a Mn esetében pedig 10-szerese az optimum felső határa az alsónak. Természetszerűen a képzett arányok is hasonlóképpen változhatnak (Kádár et al. 1981). Erre utaltak a 6.19 táblázatban korábban közölt adatok.

8.7 táblázat: Tápelemarány normák a virágzás előtti, cső alatti kukoricalevél tápláltsági állapotának megítélésére (Beaufils 1971)

Tápláltsági kategória	N/P	N/K	K/P
Erős hiány	4.05 alatt	0.49 alatt	3.43 alatt
Közepes hiány	4.05-8.08	0.49-0.97	3.43-6.85
Enyhe hiány	8.09-8.98	0.98-1.08	6.86-7.61
Normális (optimum)	8.99-11.37	1.09-1.38	7.62-9.64
Enyhe túlsúly	11.38-12.64	1.39-1.54	9.65-10.71
Közepes túlsúly	12.65-25.28	1.55-3.08	10.72-21.42
Erős túlsúly	25.29 felett	3.08 felett	21.42 felett
Optimum átlag	10.11	1.23	8.57

8.33 A módszer ellenőrzése saját kísérletben

A módszer ellenőrzésére olyan tenyészedény kísérleteket használtunk, ahol az NPK ellátottság 4-4 szintjét és összes lehetséges kombinációját beállítottuk 4x4x4=64 kezelésben 2 ismétléssel, összesen 128 edényben. Itt lehetőség nyílt a 4-6 leveles kukorica hozama, valamint tápelemtartalma közötti összefüggéseket a legmegbízhatóbban és legátfogóbban megítélni. A növények föld feletti hajtásának betakarítása után a vetést megismételtük. A P és K szinteket egyszeri feltöltéssel állítottuk be, míg a N szintjeit kéthetenként trágyázással alakítottuk ki. A kísérletet részben már korábban a 6.13 táblázat kapcsán, valamint más helyen részletesen ismertettük (Kádár és Pusztai 1982, Pusztai és Kádár 1980 stb.).

A kísérleti körülmények leírásától és a talajvizsgálati adatok közlésétől azért is eltekinthetünk, mert a DRIS rendszerben az optimumok keresése kapcsán az összefüggés-vizsgálatok végső soron két tényezőre szűkülnek. Adott esetben a kukorica hajtásának ásványi összetétele és a szárazanyag hozamának kapcsolatára. Kísérleti tervünk alkalmasnak mutatkozott a finomabb kölcsönhatásokat is feltárni, bizonyos mértékig pótolhatta a DRIS normák kialakításánál felhasznált sokezres adattömeg diagnosztikai erejét. Magában foglalta ugyanakkor az extrém tápláltsági szituációkat, az egyoldalú hiány és drasztikus túlsúly, valamint a kiegyensúlyozott ellátás eseteit is.

A II. tenyészedény kísérlet NxP kezeléseit, valamint a tápláltságot jellemző mutatókat példaképpen a 8.8 táblázatban közöljük. A táblázatból kitűnik, hogy a 4-6 leveles kukorica hajtásának tömegében valamint tápelem arányaiban nem ritkán nagyságrendi különbségek jelentkeztek a kezelések nyomán. Az N/P arányok és a hozam összefüggését tükröző ábráról (6.10) látható, hogy a nagy hozamokhoz szűk optimum, míg a kis termésekhez szinte bármilyen arány tartozhat. Az optimumok a "gúlát" burkoló görbe csúcsáról leolvashatók. Az adatok közelítően normál eloszlása a gúlában azt jelzi, hogy sikerült mindhárom tápelemnél a gyenge, közepes, jó és káros ellátottsági viszonyokat létrehozni.

A 8.8 táblázat adatai arra utalnak, hogy az általunk számított DRIS indexek elég jól tükrözték a növény tápláltságát. A N nélküli kezelések minden esetben szignifikánsan nagy negatív értékeket mutatnak. A N adagolással az indexek negatív értéke csökken majd pozitívvá válnak, utalva az esetleges enyhe túlsúlyra. Hasonló volt a helyzet a P és K esetében is. A nagyhozamú kezelésekben tehát kisebbek az indexek abszolút értékei, valamint a tápanyag kiegyensúlyozottságát jelző D értékek. A tápelemharmónia azonban csak szükséges, de nem egyedüli feltétele a nagy terméseknek. Ugyanis mind a kis, mind a nagy termésnek lehet közel azonos D-értéke. A tápelemek arányain kívül tehát az abszolút koncentrációkat is figyelembe kell venni a tápláltság megítélésakor.

A DRIS módszer adaptálása és ellenőrzése terén szerzett tapasztalatainkat az alábbiakban foglalhatjuk össze:

1. A növényben megállapított optimális tápelemarányok jól egyeztek egymással, valamint a szabadföldi kísérletekben korábban megállapított optimumokkal is. A tenyészedényben nyert optimális arányok extrapolálhatók a szabadföldi viszonyokra és tájékoztató jelleggel szaktanácsadási célokra, míg a koncentráció adatai félrevezetőek lehetnek.
2. A tápelemek arányán kívül az abszolút koncentrációkat is tekintetbe kell venni a szaktanácsadásban, mert pl. két elem kiegyensúlyozott aránya olyankor is előállhat, amikor mindkét elem hiánya vagy együttes túlsúlya áll fenn.
3. A DRIS indexek diagnosztikai megbízhatósága szabatos tenyészedény kísérlet körülményei között 75 % körüli volt. A trágyahatások hasonló biztonsággal előre jelezhetők a hagyományos határértékes növényanalízissel is, amennyiben kellő szakértelemmel rendelkezünk.
4. Más eljárásokhoz hasonlóan a módszer megbízhatósága akkor kielégítő igazán, ha extrém hiány vagy túlsúly felderítéséről van szó. A közepes és kielégítő

8.8 táblázat : A 4-6 leveles kukorica hajtásának légszáraz súlya, ásványi összetétele és a DRIS indexeinek változása a II. tenyészedény kísérlet NxP kezeléseiben. Meszes csernozjom talaj. K-kezelések átlagai, 1978. (Kádár et al. 1981)

Kezelés		Szárzsúly g/edény	Tápelem %			Arányok			DRIS indexek			D-érték	Trágyahatás g/edény	
N	P		N	P	K	N/P	N/K	K/P	Ni	Pi	Ki		N	P
0	0	1.6	0.89	0.14	3.65	6.5	0.3	25.5	-190	-74	264	335	4.9	-0.2
1	0	6.5	1.84	0.12	3.26	15.4	0.8	26.9	-17	-142	159	237	0.1	-4.3
2	0	6.6	2.77	0.12	4.00	24.3	1.0	34.5	55	-233	178	325	-1.8	1.8
3	0	4.8	3.17	0.15	4.10	20.9	1.1	27.7	48	-175	127	248	-	3.3
0	1	1.4	1.45	0.44	3.43	3.3	0.5	7.7	-178	111	66	238	0.8	-0.1
1	1	2.2	1.64	0.41	3.32	4.0	0.6	8.1	-133	82	50	185	6.2	0.3
2	1	8.4	2.81	0.36	3.02	8.2	1.8	8.8	10	40	-50	161	-0.3	1.8
3	1	8.2	3.45	0.31	3.45	11.6	1.8	12.5	36	-11	-26	162	-	1.3
0	2	1.3	1.22	0.48	3.17	2.6	0.5	7.0	-228	159	69	309	1.2	-0.4
1	2	2.5	1.32	0.46	3.54	2.9	0.4	8.0	-215	122	93	275	7.7	0.6
2	2	10.2	2.60	0.33	3.10	7.8	1.2	9.6	-16	22	-6	104	-0.8	0.3
3	2	9.4	3.31	0.30	3.53	11.2	1.7	12.7	30	-6	-25	164	-	1.6
0	3	1.7	1.52	0.54	3.08	2.8	0.6	5.8	-189	160	28	270	1.4	-
1	3	3.1	1.93	0.47	3.53	4.2	0.8	7.8	-112	92	21	195	7.5	-
2	3	10.5	2.92	0.36	3.41	8.2	1.5	10.0	0	32	-32	143	0.5	-
3	3	11.0	3.31	0.29	3.56	11.4	2.1	13.4	45	-1	-44	207	-	-
SzD5%		2.1	0.39	0.05	0.73	1.9	0.6	4.5	66	43	75	99	2.1	2.1

- ellátottságot pontatlanabban jelzi. Mint önálló módszer nem helyettesítheti a szaktanácsadásban alkalmazott egyéb megközelítési módokat és eszközöket (TVG, tápelemmérés, üzemi adatok elemzést stb.).
5. A módszer ugyanakkor a diagnózist mechanikusabbá és részben gépesíthetővé teheti, melynek előnyei több tápelem egyidejű vizsgálatánál jelentkeznek. A minimum sorrend jól orientálhatja a szaktanácsadót és így segíthet a szakemberhiány enyhítésében.
 6. A DRIS trágyaadagot nem határoz meg. A trágyaadag megállapítása az általános alapelvek (Műtrágyázási irányelvek 1979) és gyakorlat alapján történhet.

8.4 Irodalom

- BEAUFILS, E. R. (1956): Mineral equilibrium in the foliage and latex of *Hevea brasiliensis*. *Ann. Agron.* 2:205-211.
- BEAUFILS, E. R. (1971): Physiological diagnosis. A guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. *Fert. Soc. S. Afr. J.* 1:1-30.
- BEAUFILS, E. R. (1973): Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. Univ. of Natal. Pietermaritzburg, South Africa. *Soil Sci. Bull.* 1:1-132.
- BRONNER, H. von (1969): Der Zusammenhang zwischen Rübenproduktion, Düngung und Bodenmerkmalen II. *Die Bodenkultur.* 20:268-290.
- EL-DAMATY, A.H. - HAMDY, H. - ORABI, A.A. (1971): Factors affecting the manganese status in soils of the UAR. *UAR J. Soil Sci.* 11:7-26.
- EL-DAMATY, A.H. et al. (1973): Copper status in some selected soils of Egypt. *Egypt J. Soil Sci.* 13:55-64.
- ELEK, É. - KÁDÁR, I. - LÁSZTITY, B. (1979): A kukorica tápanyagfelvételének dinamikája és a műtrágyázás. *Magyar Mezőgazdaság.* XXXIV. évf. 22. sz. 12.
- ELEK, É. - PATÓCS, I. (1984): A magyarországi I. talajvizsgálati ciklus eredményeinek értékelése. MÉM NAK kiadványa. Budapest.
- ELSOKKARY, I.H. (1974): Leaf analysis as a guide to the nutrition status of orange trees in some alluvial and desert calcareous soils in Egypt. *Beitr. trop. Landwirtschaft. Veterinärmed.* 12:249-262.
- ELSOKKARY, I.H. - LAG, I. (1980): Status of some trace elements in Egyptian soils and in wheat grains. *Beitr. trop. Landwirtschaft. Veterinärmed.* 18:37-47.
- FERRARI, Th. J. (1965): Prüfen mit und ohne Eingriff. In: Aktuelle probleme des landwirtschaftlichen Versuchswesens. *Landw.-chem. Bundesversuchsanstalt.* 25-58. Linz.
- GHANEM, I. et al. (1970): Studies on manganese in soils. I. The Mn status in some selected Egyptian soils. *Beitr. trop. sub trop. Landwirtschaft Tropenveterinärmed.* 8:137-144.

- GUSENLEITNER, J. von (1972): Die Mineralstoffversorgung von Kartoffeln im Bezirk Freistadt, Oberösterreich. Die Bodenkultur. 23:111-126.
- GUSENLEITNER, J. von (1974): Die Mineralstoffversorgung des Körnermaises in Oberösterreich. Landforstw. Forsch. in Österreich. 6:45-66.
- GUSENLEITNER, J. von (1978): Die Mineralversorgung des Winterweizens in Oberösterreich. Die Bodenkultur. 29:12-39.
- KADLICKÓ, B. - KRISZTIÁN, J. - HOLLÓ, S. (1988): Kálium műtrágyázási kísérletek eredményei barna erdőtalajokon. Növénytermelés. 37:43-51.
- KÁDÁR, I. - LÁSZTITY, B. (1979a): A feltöltő foszfor- és kálium műtrágyázás lehetőségének vizsgálata néhány magyarországi talajon. Agro-kémia és Talajtan. 28:123-142.
- KÁDÁR, I. - LÁSZTITY, B. (1979b): Őszi búza tápanyagfelvételének tanulmányozása szabadföldi kísérletben. Agro-kémia és Talajtan. 28:451-472.
- KÁDÁR, I. - LÁSZTITY, B. (1981): Az őszi búza tápelemarányainak változása a tenyészidő folyamán. Agro-kémia és Talajtan. 30:291-306.
- KÁDÁR, I. - PUSZTAI, A. - LÁSZTITY, B. - SARKADI, J. - WELLISCH, P. (1981): Diagnózis és Szaktanácsadás Egységes Rendszere (DRIS): Új értékelési lehetőség a növénytermesztésben. Agro-kémia és Talajtan. 30:465-486.
- KÁDÁR, I. - PUSZTAI, A. (1982): Az NPK túltrágyázás hatása a 6 leveles kukorica makro- és mikroelem tartal-mára. II. Növénytermelés. 31: 523-532.
- KÁDÁR, I. - ELEK, É. - FEKETE, A. (1983): Összefüggésvizsgálatok néhány talajtulajdonság, a műtrágyázás, valamint a növénytakaró jellemzői között. Agro-kémia és Talajtan. 32:57-76.
- KÁDÁR, I. - ELEK, É. (1988): Összefüggésvizsgálatok néhány talajtulajdonság, valamint a búza és a kukorica jellemzői között. Agro-kémia és Talajtan. 36-37:253-270.
- KERESZTÉNY, B. - NAGY, L. - FEKETE, A. (1979): A mangánellátottsági szám képlete. Agro-kémia és Talajtan. 28:86-96.
- KRISZTIÁN, J. - HOLLÓ, S. - KADLICKÓ, B. (1988): Periodikus kálium műtrágyázás. Növénytermelés. 37:259-266.
- LÁSZTITY, B. - KÁDÁR, I. (1978): Az őszi búza szárazanyag felhalmozódásának, valamint tápanyagfelvételének tanulmányozása szabadföldi kísérletben. I. Agro-kémia és Talajtan. 27:429-444.
- LÁSZTITY, B. - KÁDÁR, I. (1979): A kukorica tápanyagfelvételi görbéjének kimérése kisparcellás szabadföldi kísérletben. MÉM NAK. Kézirat. Budapest. 1979.
- MÜLLER, H.J. (1977): Ertrag und Qualität von Zuckerrüben in Österreich sowie Beeinflussung insbe-sondere durch Düngung in Abhängigkeit von Standortfaktoren. II: Die Bodenkultur. 28:111-164.
- PUSZTAI, A. - KÁDÁR, I. (1980): Nitrogénforgalmi vizsgálatok mészlepedékes csernozjom talajon modellkísérlet-ben. Agro-kémia és Talajtan. 29:251-271.
- SARKADI, J. (1962): Die Wirkung der edaphischen Faktoren auf die Nährstoffaufnahme. Agrochimica. 6:275-285.
- SCHACHTSCHABEL, P. (1973): Beziehungen zwischen dem Phosphorgehalt in Böden und jungen Haferpflanzen. Pflanzenern. u. Bodenkunden. 135:31-43.

- SILLANPÄÄ, M. (1982): Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study FAO Soils Bulletin. No. 48. Rome.
- SUMNER, M.E. (1977a): Preliminary NPK foliar diagnostic norms for wheat. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 8:149-167.
- SUMNER, M.E. (1977b): Application of Beaufils' diagnostic indices to maize data published in the literature irrespective of age conditions. Plant and Soil. 46:359-369.
- SUMNER, M.E. (1977c): Preliminary N, P and K foliar diagnostic norms for soybeans. Agron. J. 68:226-230.
- SUMNER, M.E. (1977d): Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. Com. Soil Sci. Plant Anal. 8:251-268.
- SUMNER, M.E. (1978): Interpretation of nutrient ratios in plant tissue. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 9:335-345.
- SUMNER, M.E. (1979): Interpretation of foliar analyses for diagnostic purposes. Agron. J. 71:343-348.
- SVÁB, J. - SIMITS, K. (1980): Nagy olajtartalmú napraforgó 1978. évi nagyüzemi termelését befolyásoló tényezők biometria elemzése. Agrártudományi Egyetem. Gödöllő.
- THAMM, FNÉ (1980): Az AL-P értékek korrigálása néhány talajtulajdonság figyelembevételével. Agrokémia és Talajtan. 29:473-496.
- VÁRALLYAY, GY. - SZÜCS, L. - MURÁNYI, A. - RAJKAI, K. - ZILAHY, P. (1980): Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100 000 méretarányú térképe. II. Agrokémia és Talajtan. 29:35-76.

9. A NÖVÉNYTÁPLÁLÁS KÖRNYEZETVÉDELMI VONATKOZÁSAI

*"Az agyondícsérés a hazugság egy neme...
Isten nem bottal ver, hanem idővel..."*

GRÁCIÁN

9.1 A környezetszennyezés forrásai és következményei. Általános megközelítés

Az emberiséget egyre inkább aggasztja környezetének, a levegőnek, víznek, talajnak, valamint az élő szervezeteknek elszennyeződése. Civilizációnk nem kis mértékben a kémiai elemek (növényi tápelemek, fémek) felhasználásán alapul. A növekvő népességgel párhuzamosan olyan gazdasági rendszert működtetünk, amely a termelés és a fogyasztás fajlagos növelésére ösztönöz. Ebből adódóan a környezet igénybevétele (kizsákmányolása) hatványozottan jelentkezik. Az ásványi nyersanyagok kitermelése és felhasználása a közelmúltig úgy történt, mintha a készletek kimeríthetetlenek lennének a Földön.

A természetes nyersanyagokból termékeket állítunk elő, miközben hulladék és szemét képződik. Amint Vester (1972) megjegyzi, az ember ma már gyakran százszor annyi nyersanyagot alakít át, mint a természetes geológiai események. Adatait a 9.1. táblázatban mutatjuk be. A fogyasztás is a termékek további átalakítását jelenti szemétté, hulladékká. Hivatkozik a szerző Commoner amerikai ökológus vizsgálatára, mely szerint, míg az USA lakossága alig felével növekedett, a környezet szennyezése meghétszereződött a II. világháborút követően. A környezetterhelés 80-85 %-ban arra volt visszavezethető, hogy 1946-tól kezdve új gyártástechnológiákat vezettek be (műanyagok, műtrágyák, növényvédőszer, villamosenergia termelés stb.). A népességnövekedés szerepe másodrendű volt ebben a folyamatban.

A környezetikímélő eljárások helyett elterjedtek azok a technológiák, melyek az ingyen felhasználható levegőt, vizet, talajt, élővilágot terhelik. A költségesebb újrahasznosítás, a zártabb termelési ciklus, a szennyvíztisztítás csökkentette volna versenyképességüket a piacon. Csak az utóbbi évtizedekben tudatosul, hogy a környezet is érték, figyelembe veendő a gazdasági számításokban. A környezetikímélő technológiák megdrágítják ugyan az egyes fogyasztási cikkeket: "de az élet egésze olcsóbbá válik". A tiszta környezet megőrzése összehasonlíthatatlanul olcsóbb, mint a szennyezett környezet megtisztítása, amennyiben egyáltalán lehetséges. Ez a társadalom egészének áldozatvállalását igényli.

9.1 táblázat: A bányászat és a természetes geológiai folyamatok (talajvíz + folyók által elszállított elemek mennyiségének) összehasonlítása Vester (1972) és Semb (1978) adatai nyomán, 1000 t/év

Elem jele	<u>Emberi tevékenység (bányászat)</u>		<u>Geológiai folyamatok</u>
	Vester (1972)	Semb (1978)	Vester (1972)
Fe	319.000	1.000.000	25.000
N	9.800	20.000	8.500
P	6.500	13.000	180
Cu	4.460	7.140	75
Zn	3.930	5.670	370
Pb	2.330	3.410	180
Mn	1.600	9.200	440
Ni	358	692	300
Sn	166	185	1.5
Mo	57	71	13
Sb	40	66	1.3
Ag	7	92	5
Hg	7	10	3

Megjegyzés: Vester (1972) a 60-as évek, Semb (1978) a 70-es évek becsült adatait közli.

A kémiai elemek szétszóródása, körforgalma eddig ugrásszerűen nőtt a környezetben, de várhatóan ez a tendencia megfordul. A becslések szerint ugyanis (Meadows et al. 1972, Vester 1972, Purves 1985) az ismert lelőhelyek néhány évtized múlva kimerülhetnek, ill. mintegy 50 éven belül hiány léphet fel számos fém esetében mint az ezüst, arany, ólom, cink stb. A fémek újrahasznosítása és a környezetvédelem szükségzerűen eggyé válhat a jövőben, a körforgalom zárul majd az új technológiák és emberi magatartásformák nyomán.

A természetes elemforgalom geokémiailag behatárolt a Földön, amelyhez alkalmazkodott az élővilág. A mozgékonyabb (részben káros) frakciók eltűntek a talajból, a talajoldat és a természetes vizek koncentrációja híg a nemkívánatos elemek tekintetében. Drasztikusan megváltozhat a helyzet, amikor nagyságrendekkel megnöveljük a talaj felvehető káros elemtartalmát pl. magas fémtartalmú szennyvíziszapokkal. Megváltozik az összetétele, minősége a talajnak, talajéletnek, a rajta termő növénynek és a legelő vagy takarmányevő állatnak.

A szárazföldi állatokhoz hasonlóan döntően az ember is a talajból származó élelemre utalt. Anyagcserénk olyan enzimrendszerre épült, mely az esszenciális elemeket hasznosítja (Fe, Mn, Zn, Cu stb.), míg a káros elemeket kiküszöböli (As, Pb, Hg, Cd, Be stb.). Az életközösségek, növények és állatok lassan változnak. A földi élő rendszerek nem képesek rövidtávon alkalmazkodni a drasztikus környezeti átalakuláshoz. A kémiai környezetterhelésre az emberi szervezet sincs evolúciós értelemben felkészülve. Az akkumulálódó elemek stabilak, irreverzibilisen változtathatják meg a környezet és az élőlények összetételét. A városi ember véré-

ben, vizeletében, hajában, szöveteiben az ólom és a kadmium koncentrációja pl. nagyságrendekkel nőhet, részben kiszámíthatatlan következményekkel (Purves 1985, Fergusson 1991).

Amint Purves (1985) felhívja rá a figyelmet, utódainknak talán már nem is lesz lehetősége megszabadulni a szennyezett környezettől. Elvileg ugyan részben lehetséges lenne megtisztítani a levegőt, vizet, talajt a szennyeződésektől. Ez a munka azonban oly sok energiát igényelne még nagyobb szennyeződést indukálva, hogy a gyakorlatban kivihetetlennek látszik. Minden elem viselkedése, reakciója egyedi, bár vannak általánosítható jelenségek. A fémek többsége nyomelemként van jelen a bioszférában és az élő anyagban. Szétszóródásuk függ a kinyerés módjától, illékonyaságuktól, oldhatóságuktól stb. A toxikus elemek között nemfémek is előfordulnak, mint az As, B, Se.

A földi élet az atmoszféra (légkör), a hidroszféra (vízburok) és a litoszféra (szilárd kéreg) határfelületén alakult ki, melyet bioszférának nevezünk. Az emberi tevékenység hatására a bioszféra egésze változik, mert ez a tevékenység planetáris méreteket öltött. A bioszféra elemeinek (víz, talaj, levegő, növény, állat, ember) szennyeződése bizonyos elemekkel és toxikus fémekkel a kémiai környezetterhelés egyik formája, mely alapvető egészségügyi, gazdasági, ökológiai jelentőséggel bír. A környezetterhelés, elsősorban a levegőszennyezés fő forrásai a közlekedés, a fosszilis tüzelőanyagok, mint a szén és az olaj égetése fűtésre (energiatermelés), a metallurgiai ipar, bányászat. A települések fűtése, növekvő szemétermelése, szennyvize és szennyvíziszapja mellett nem elhanyagolható a mezőgazdaság környezetterhelése műtrágyákkal, peszticidekkel, szerves-trágyákkal, mezőgazdasági eredetű szennyvizekkel és szennyvíziszapokkal. Utóbbiakról nyújt áttekintést a 9.2 táblázat Kabata-Pendias és Pendias (1984) nyomán. A szennyező anyagok, elemek jelentős része közvetlenül a levegőbe kerül gázok, gőzök, füst, korom és por alakjában. A szennyezők az atmoszférában bizonyos időt töltenek (residence time) kémiai természetüknek és a légköri viszonyoknak megfelelően, majd száraz vagy nedves üledék formájában kicsapódnak és a felszínre jutnak. A talajok és a föld feletti növényi részek kémiai összetétele indikátora lehet tehát a szennyezésnek, amennyiben összevetjük a távolabbi nem szennyezett területekével. Az elemek másik része közvetlenül vagy közvetve a vizekbe jut és a lebegő vagy leülepedő kolloidokhoz kötődik, ill. beépül a vízi élőlények testébe. A vizek, vízi élőlények, planktonok, a vízben élő állatok, valamint az üledékek analízise szintén jelezheti a szennyeződés mértékét. A lég-kör elemkoncentrációinak antropogén hatásra bekövetkező változását szemlélteti a 9.3 táblázat.

Az élőlények bizonyos csoportjai különösen érzékenyek a környezet elszennyeződésére, visszaszorulásuk vagy kipusztulásuk jelezheti a növekvő terhelést. Lásd a békák eltűnését parti vizeink többségéből. A légszennyeződés kiváló indikátorai pl. a zuzmók. Farkas et al. (1985) vizsgálatai szerint Budapest nagy része napjainkban sivatagnak minősül a legtöbb zuzmófaj számára. A szerzők a főváros légszennyezettségi térképét is összeállították a kihelyezett zuzmóminták nehézfém szennyezettsége és kémiai elemzése alapján.

9.2 táblázat: A talajok mikroelem szennyeződésének mezőgazdasági forrásai, ppm. (Kabata-Pendias és Pendias 1984)

Elem	Szennyvíziszapok	P-műtrágyák	Meszezőanyagok	N-műtrágyák	Istállótrágya	Peszticidek
As	2 - 26	2 - 1200	0.1 - 24	2.2 - 120	3 - 25	22 - 60
B	15 - 1000	5 - 115	10	-	0.3 - 0.6	-
Ba	150 - 4000	200150	-250	-	270 -	-
Be	4 - 13	-	1	-	-	-
Br	20 - 165	3 - 5	-	185 - 716	16 - 41	20 - 85
Cd	2 - 1500	0.1 - 170	0.04 - 0.1	0.05 - 8.5	0.3 - 0.8	-
Co	2 - 260	1 - 12	0.4 - 3	5.4 - 12	0.3 - 24	-
Cr	20 - 40600	66 - 245	10 - 15	3.2 - 19	5.2 - 55	-
Cu	50 - 3300	1 - 300	2 - 125	1 - 15	2 - 60	12 - 50
F	2 - 740	8500 - 38000	300	-	7 - 18	-45
Hg	0.1 - 55	0.01 - 1.2	0.05	0.3 - 2.9	0.09 - 0.2	0.8 - 42
Mn	60 - 3900	40 - 2000	40 - 1200	-	30 - 550	-
Mo	1 - 40	0.1 - 60	0.1 - 15	1 - 7	0.05 - 3	-
Ni	16 - 5300	7 - 38	10 - 20	7 - 34	7.8 - 30	-
Pb	50 - 3000	7 - 225	20 - 1250	2 - 27	6.6 - 15	60
Rb	4 - 95	5	3	-	0.06	-
Se	2.9	0.5 - 25	0.08 - 0.1	-	2.4	-
Sn	40 - 700	3 - 19	0.5 - 4	1.4 - 16	3.8	-
Sr	40 - 360	25 - 500	610	-	80	-
Te	-	20 - 23	-	-	0.2	-
U	-	30 - 300	-	-	-	-
V	20 - 400	2 - 1600	20	-	-	45
Zn	700 - 49000	50 - 1450	10 - 450	1 - 42	15 - 250	1.3 - 25
Zr	5 - 90	50	20	-	5.5	-

Megjegyzés: Több szerző alapján összeállítva

9.3 táblázat: Elemkoncentrációk antropogén hatásra bekövetkező változása a légkörben, ng/m³, SEMB (1978) nyomán

Elem jele	<u>Szennyezetlen területek</u>		<u>Vidék Angliában</u>		<u>Városok</u>	
	Új Canada	Jungfrau	Shetland	Berks	Liége	Oslo
Fe	71	78	59	310	2800	6100
Al	66	71	56	260	1550	700
Na	18	23.5	2000	760	665	-
Cl	9	8.4	3100	2000	2040	-
Zn	3.8	36	33	140	2800	3100
Mn	1.5	4.7	3	20	92	780
Cu	0.9	2.1	<6	10	213	-
Br	0.5	3.0	18	65	106	920
Cr	0.6	1.0	1	4	-	26
As	0.31	0.62	1.4	4.8	26	-
V	0.21	0.69	2	14	21	35
I	0.20	0.49	-	-	6.2	-
Sb	0.13	0.51	0.5	2.2	9.4	16
Se	0.04	0.09	0.4	1.2	4.1	-
Co	0.04	0.12	0.06	0.4	2.8	-
Pb	-	-	30	150	-	2500

A közeg mint a víz, talaj, levegő szennyezettsége mérhető közvetlenül is. A mérés azonban gyakran drága, körülményes, valamint nem tükrözi az élővilágra gyakorolt hatást. Pontosabban a környezet és szervezet kölcsönhatását, a táplálékláncba kerülést, vagy a felvétel hiányát stb. A biotest, vagy bioindikátor gyakran egyszerűbb és olcsóbb megoldást jelent, tájékoztatva a környezet minőségének változásáról. A nagyvárosi levegőszennyezés, tehát az imissziós terhelés kimutatására részben azok a növényfajok alkalmasak, amelyek jelentős akkumulációs képességgel és rezisztenciával rendelkeznek, mint akkumulációs indikátorok. A bioindikáció elméleti és gyakorlati kérdéseivel a legátfogóbban a hazai irodalomban Kovács Margit és munkatársai foglalkoztak (Kovács et al. 1982, Kovács és Podani 1986, Kovács et al. 1986).

A bioindikátorok lehetővé teszik olyan elemek mozgásának és felhalmozásának nyomon követését, melyek a közegben (víz, levegő, talaj) alig mérhetők, vagy kimutathatatlanok még a jelenkori analitikai technika számára is. Biológiai indikátorok lehetnek a gombák, zuzmók, mohák, cserjék, útszéli gyomfajok, városi sorfák, vízínövények, kultúrnövények stb. Hasonlóképpen a szárazföldi és vízben élő állatok szervei, valamint az ember is. Az élő szervezet rendelkezik azzal a képességgel, hogy a nyomokban jelen levő elemeket koncentrálja testében. Ezzel megváltoztatja környezete összetételét, a fémek és elemek szétszóródásával szemben szelektíve felhalmoz. Ez a funkció tehát nemcsak a környezet összetételét tükröző tesztet jelent, hanem a környezet átalakítását, tisztítását is.

Tóth (1972) vizsgálatai és becslései szerint pl. a Balaton eutrofizálódásában döntő szerepet játszó N és P tekintetében a hínárok 560 kg nitrogént és 70 kg foszfort stabilizáltak 1969-ben a Keszthelyi öbölben. A felhalmozott N és P mennyisége több mint kétszerese volt a tiszta vízi termőhelyről származó mintákhoz viszonyítva. Kovács és Tóth (1979) a balatoni hínárok biogén-elem felhalmozását vizsgálva konstatálták, hogy a hínárfajok a nitrogént tízezerszeres, a foszfort százezerszeres nagyságrendben képesek akkumulálni a víz tápelem-koncentrációjához viszonyítva. A koncentrációs faktor a Na és Mg esetében száz, míg a Fe, Mn, Zn, Cu esszenciális mikroelemeknél ezerszeres volt átlagosan. A fajok közötti eltérések lehetővé tették azok csoportosítását elemakkumulációjuk szerint is, mert az elemfelvétel fajspecifikus, hasonlóan a szárazföldi növényekhez.

A vízi növények tehát jelezhetik a tavakat érő nagyobb tápanyagterhelést mind előfordulásukkal, mind összetételükkel. Részt vehetnek az állóvizek biológiai tisztításában nagy fitomassájuk és akkumulációs képességük révén. A tápanyagok azonban csak tárolódnak a növényben. A potenciális terhelés forrásaiként jelen vannak mindaddig, míg a növény el nem pusztul. A burjánzó vízi növényzet összegyűjtése, hasznosítása, komposztálása a ciklus zárását jelenthetné. Tölgyesi (1965) vizsgálataira támaszkodva hangsúlyozta, hogy a halastavak hínár-mentesítésekor partra húzott nagy tömegű növényzettel tekintélyes mennyiségű ásványi anyagot vonhatunk ki a vízi élettérből, mely tápanyag könnyen felvehető és hasznosítható formában van.

A Balaton vízi növényeinek és vizének mikroelem összetételét vizsgálva Kovács és Tóth (1979) megállapítják, hogy a növények 10 - 1.000.000-szoros koncentrációban képesek felhalmozni bizonyos ritkán előforduló elemeket. A koncentráció a geokémiai környezet függvénye és az Pb, Zn, Cu, As elemeknél a környezetterhelést is jól jellemezte. Salánki et al. (1981) balatoni állatokban vizsgálták a Hg, Cd, Pb, Cu, Fe, Mn, Zn koncentrációját, összehasonlítva a víz koncentrációjával. Az állati szervezetek koncentrációs faktora a vízhez képest nagy különbségeket mutatott elemenként, fajonként és szövetenként 10-100.000-szeres tartományban. A Hg, Cd, Cu, Zn 100-1000-szeres, a Pb és Fe felhalmozás 10.000-szeres, míg a Mn 100.000-szeres koncentrációt jelentett a kagylók kopolyájában.

Az élet első formáinak megjelenését a Földön mintegy 3.5 milliárd évre becsüljük. Az élő és élettelen világ kölcsönhatása azóta létrehozta a bioszférát. Ma már elfogadott, hogy a földkéreg összes elemeit az élőlények is tartalmazzák. Pais (1991) szerint a lehetséges 92 elemből a 6 nemesgázt valamint a nem stabil elemeket kizárva mintegy 76 elem esetén feltételezhető valamilyen élettani funkció. Az esszencialitás Arnon és Stout (1939) által megfogalmazott, ma már klasszikusnak tekinthető szigorú kritériumait nem könnyű teljesíteni a kísérletes bizonyítás során. Mindez azonban nem azt jelenti, jegyzi meg Pais (1991), hogy a ma még nem ismert elemek hasznosságát vagy nélkülözhetetlenségét kategórikusan elutasíthatjuk, hiszen az elmúlt évtizedekben számos újabb elemről derült ki pozitív élettani hatása. A leggyakoribb és legfontosabb elemek átlagos előfordulását a földkéregben, tengervízben, növényben, állatban és emberben a 9.4 táblázatban tekinthetjük át.

9.4 táblázat: A fontosabb kémiai elemek becsült átlagos koncentrációja a földkéregben, tengervízben, növényben, állatban és emberben. Pais (1991) összeállítása nyomán (ppm)

Elem neve	Elem jele	Föld-kéregben	Tenger-vízben	Növény-ben	Állat-ban	Ember-ben
Oxigén	O	466000	857000	410000	400000	624000
Szilícium	Si	277200	3.0	200-5000	100-6000	0.3-0.6
Aluminium	Al	81300	0.01	500	4-100	<0.8
Vas	Fe	50000	0.01	140	160	100
Kalcium	Ca	36300	400	18000	200-85000	19000
Nátrium	Na	28300	10500	1200	4000	800
Kálium	K	25900	380	14000	7400	2000
Magnézium	Mg	20900	1350	3200	1000	300
Titán	Ti	4400	0.001	1	0.2	< 0.02
Hidrogén	H	1400	108000	55000	70000	99000
Foszfor	P	1180	0.07	2300	30000	9000
Mangán	Mn	1000	0.002	120	0.2	0.3
Kén	S	520	885	3400	5000	4000
Szén	C	320	28	454000	465000	211000
Klór	Cl	314	19000	2000	2800	800
Fluor	F	300	1.3	1-40	600	600
Króm	Cr	200	0.00005	0.2	0.07	
	0.07					
Vanádium	V	150	0.002	1.6	0.1	0.2
Cink	Zn	132	0.001	100	0.3	30
Nikkel	Ni	80	0.0054	3	0.8	
	0.15					
Réz	Cu	70	0.003	14	2.4	1.6
Lítium	Li	65	0.18	0.1	0.02	
	0.02					
Nitrogén	N	40	0.5	30000	100000	31000
Kobalt	Co	23	0.00027	0.5	0.03	0.02
Molibdén	Mo	15	0.01	0.9	0.2	0.2
Bór	B	3	4.6	50	0.5	< 1.0
Jód	I	0.3	0.06	0.42	0.4	0.2
Szelén	Se	0.09	0.00009	0.2	1.7	0.2

Megállapítható, hogy a szerves világ összetétele lényegesen eltér a földkéreg összetételétől. Így pl. a H 10-50, a N kb. 100, míg a C 1000 koncentrációs faktort jelez az élővilágban, a feldúsulás tehát több nagyságrendű. A legtöbb fém 1 % körüli vagy alatti koncentrációban található a Földön, az élőlényekben ezzel

szemben 5-1000-szeres a hígulás. Kivételt képeznek az esszenciális elemek, mint a Cu, Mo, Ni fémek és a B, I, S nemfémek. Itt az akkumuláció érvényesül. Az óceánok vizéhez viszonyítva bizonyos tengeri állatok, kagylók stb. a Fe, Zn, Cr, Cd elemeket tíz- vagy százezerszeres koncentrációban tartalmazhatják a táplálékláncban megnyilvánuló akkumuláció eredményeképpen. Az élő szervezetek bizonyos sejtjei és szövetei is képesek a szelektív elemfelvételre. Az emberi test jódkészletének jelentős részét pl. a pajzsmirigy tárolja (Pais 1991).

9.2 A toxicitás problémája és a határkoncentrációk megállapítása

Toxikusnak tekintjük az elemet, amennyiben káros hatást fejt ki a talajra, növényre, állatra, emberre. Számos kémiai elem nélkülözhetetlen vagy legalábbis előnyös élettani hatású, de mérgezővé vagy károssá válik túlsúlya esetén. Az adag vagy a koncentráció és az élő szervezetre gyakorolt hatás összefüggését, tápelem esetén a már ismert félbevágott ellipszishez hasonló görbe fejezi ki. A nem tápelemek, ill. a toxikus elemek esetén ez az összefüggés úgy módosulhat, hogy csak a görbe második, lehajló része jelenik meg a mérgező hatást reprezentálva. Bizonyos értelemben tehát elfogadhatók Arisztotelész "a sok megárt", valamint Paracelsus "kicsiben orvosság, nagyban méreg" által megfogalmazott klasszikus alapelvek.

A toxicitás más oldalról is relatív fogalmat takar. Fokát a fajlagos, azaz egy elem egységnyi koncentrációjára eső negatív hatásával (terméscsökkenés, megbetegedés stb.) mérhetnénk. A hatás függ azonban a környezetben előforduló más elemek jelenlététől vagy hiányától, az azokkal való kölcsönhatástól. Még a mérgező elem is kifejtethet áldásos hatást, amennyiben más elem toxikus befolyását mérséklí. Így pl. a káros Cd túlsúly Zn adagolással enyhíthető mind a növényben, mind az emberi vagy állati szervezetben. Terápiás célokra használnak olyan mérgező nehézfémeket, mint a Hg, Pb, As, Sb, Bi, Se stb (Fergusson 1991).

A mérgező hatás függ az expozíciós időtől is. A rendszeres és tartós hatás alattomosabb és esetleg veszélyesebb lehet, mert nehezebben észrevehető az akkumuláció, a terhelés. A beépülő káros elem krónikus zavarokat, az egyszeri nagy adag akut megbetegedést, a letális dózis pedig pusztulást okozhat. Másként jelentkezik a károsodás a fejlődés egyes stádiumaiban, eltérhet nemenként, fajonként, egyedenként, elemenként. A Hg és Pb különösen veszélyes a gyermekekre, a Cd pedig csontlágyulást okozva az idősebb nőkre. (Lásd a Japánban előfordult "Itai-itai" kórt). Az érintett szervek is különböznek. Így pl. a Cd és Hg főként a májban, míg a Pb az agysejtekben és a csontokban raktározódik. A kétszikű növények saját vizsgálataink szerint is gazdagabbak a károsnak minősülő nyomelemekben, mint az egyszikű gabonák. A fogyasztásra kerülő szemben akkumulálódott a Zn, Cu, Co, Cr, Mo nagyobb része (Kádár 1991).

Fontos lehet, hogy az elem milyen formában található. A toxicitás kritériuma, hogy a vegyület könnyen oldható és felvehető legyen. A metil-higany vegyületek erős mérgek, míg a HgS oldhatatlan semleges anyag. Hasonlóképpen a Ba oldható vegyületei mérgezőek, míg szulfát alakban kontrasztanyagként használják a gyomor röntgenvizsgálatánál. Meghatározó lehet az ionos állapot,

az oxidációs fok. A Cr(III) vegyületei nem mérgezők, míg a Cr(VI) erős mérge. Megemlítendő, hogy a Cr(III) vegyületek a talajban oxidálódhatnak és idővel mérgezőkké válhatnak. Hasonló a helyzet az As(III) és As(V) vegyértékű ionokkal, utóbbiak mérgezőek. Humán szempontból lényeges a szervezetbe kerülés, ill. a felvétel módja. Legveszélyesebb az injektlás, ezt követheti az emésztőrendszerbe, tüdőbe kerülés (légszennyező elemek belélegzése stb.). Fontos az emészthetőség, hiszen az élelmiszerekből bizonyos elemek 100 %-ban felszívódhatnak, míg mások döntően kiürülnek a szervezetből káros következmények nélkül (Purves 1985, Adriano 1986, Pais 1991).

Nem elhanyagolható a diszperzitás foka, az eloszlás. A szemcseméret csökkenésével ugrásszerűen nő a fajlagos felület, mely meghatározza a reakcióképességet. Különösen veszélyesek e tekintetben a kolloidális porok, melyek felületén káros elemek koncentrálódhatnak. A levegőbe kerülve tartós szennyezőkké válnak, lassan ülepednek le az atmoszférából, így regionális vagy globális környezetterhelést jelenthetnek. A felületi hatások miatt ezek a kolloidális méretű diszperz rendszerek fotokémiai reakciókra hajlamosak, füstködöt, szmogot képeznek. A folyékony, szilárd és a gáz halmazállapotú szennyezők komplexen, egymás hatását felerősítve súlyos károsodást okozhatnak a nagyvárosok és iparvidékek körzetében. Amint a 9.5 táblázatból látható, a légkör aerosol mintáinak dúsulási együtthatója az átlagos talajösszetételhez viszonyítva akár több százszoros, esetleg ezerszeres is lehet a legkárosabb elemek tekintetében.

9.5 táblázat: A levegő aerosol mintáinak elem dúsulási együtthatója az átlagos talajösszetételhez viszonyítva Semb (1978) nyomán

Elemek megnevezése	Elem jele	Mintavételi helyek		
		Birkens (1)	Snasa (2)	Anglia (3)
Ólom	Pb	2000	1800	1300
Szelén	Se	2800	740	700
Kadmium	Cd	620	320	?
Cink	Zn	600	300	300
Réz	Cu	290	230	?
Antimon	Sb	170	70	30
Vanádium	V	22	12	10
Króm	Cr	8	7	5
Mangán	Mn	10	3	2
Vas	Fe	2	2	?
Kalcium	Ca	4	6	?

Megjegyzés: (1) és (2) Dél-Norvégia iparosodott körzetében, (3) vidék Angliában

Összefoglalva megállapítható, hogy a toxicitás problémája rendkívül összetett. A mérgező, vagy káros hatás függhet számos tényezőtől, mint a koncentráció, ionállapot vagy oxidációs fok, expozíciós idő, vegyület formája, melyben az elem előfordul, a fizikai eloszlás és fajlagos felület, a rendszerben lévő

más elemek jelenléte vagy hiánya és azokkal való kölcsönhatása, az élő szervezettel történő érintkezés módja és a bejutás körülményei (felületre, táplálékláncba, közvetlenül vérbe vagy tüdőbe jutás) stb. Mindez azt is jelenti, hogy az esszenciális, valamint a nemkívánatosnak tekintett elemek forgalmát a jövőben egységes metodikával és szemlélettel kell vizsgálnunk, figyelemmel kísérve a táplálékláncban való mozgásukat, feldúsulásukat a bioszféra elemeiben. Különböző okokból de egyformán fontosak számunkra, együtt jelenhetnek meg és kölcsönhatásban vannak. A toxicitás viszonylagossága, függése a környezeti feltételektől egyben a határkoncentrációk megállapításának nehézségeit is feltárja, ill. a toxicitási határértékek relatív jellegét hangsúlyozza.

9.3 A környezetszennyezés történelmi megítélése, az ember és a környezet viszonya

A környezetvédelem fogalma és intézményei újkeletűek, mindössze néhány évtizedes múlttra tekintenek vissza. A környezetszennyezés azonban sokak szerint egyidős az emberrel. Az ember természetéből adódik, hogy nem képes békében élni környezetével. Ez két fő tényezőre vezethető vissza, a népesség szinte korlátlan növekedésére (demográfiai terhelés), valamint a környezet egyre tudatosabb igénybevételére, intenzívebb kizsákmányolására. Kísérjük meg áttekinteni az ember és környezete kapcsolatát vázlatosan a történelem folyamán.

Amint korábban utaltunk rá, az emberi civilizáció mindössze 10-15 ezer éves és a letelepedéssel, a földműveléssel jött létre. Az ezt megelőző igen hosszú történelem előtti korban az ember gyűjtögető, vadászó-halászó életmódot folytatótt. A bibliai Paradicsomból való kiűzetést a letelepedés, a földművelésre való áttérés jelenthette. Előtte az ember és a természet viszonyát valamilyen harmónia, egyensúly jellemezte. Szuhai-Havas (1978) említi, hogy a 30-as években az angol James Woodburn Tanganyikában felkereste a kis hadza törzset. Arra volt kíváncsi, hogyan él a XX. században egy kőkori néptöredék, úgy 250 mérfölddel az Egyenlítő alatt egy távoli völgyben. Közöttük élt 3 évig.

Mezítelen és nagyon barátságos vademberek voltak. Eledeleüket mindenféle erdei gyökér, vadon termő édesburgonya, bogycók, vadméhek méze, a baobabfa gyümölcse képezte. Ritkábban húst is fogyasztanak, dárdával ejtik el az antilopot, zsiráfot, zebrát. Tudomásuk van róla, hogy szomszédaik arcuk veritékével túrják a földet. Mi értelme lenne azonban kölest termeszteni? A völgyben minden megvan, reggel 2-3 óra munkával összegyűjthetik táplálékukat, azután övük a világ. Ez a vadászó-gyűjtögető csoport bőségben él, amit egy angol orvosokból álló expedíció is megerősít: "...a hadza gyermekek Kelet-Afrika legjobban táplált kicsinyei".

Az első számú konklúzió az, jegyzi meg a szerző, hogy a legősibb életforma szinte ideális, ha ideális a környezet. Ha nem, akkor persze nem. Gondoljunk a kegyetlen Kalahári sivatag vadászaira, vagy az eszkimókra. Egyszóval a Homo sapiens egyedei úgy ötmillió éven át boldogan élhettek, akár a hadzák. Mi készítette az embert, hogy áttérjen a helyben űzhető gyűjtögetésre (földművelés), ill. a helyben űzhető vadászatra, melyet állattenyésztésnek nevezünk?

Az újkőkori forradalom háttérében a demográfiai robbanás állhatott, melyet a természeti folyamatok is erősítettek. A természetes szaporulat igen csekély volt korábban, egy ezrelék körüli évente. A mai növekedés 10-20 ezerszer gyorsabb ütemű, 3-4 hét alatt nőhet annnyival a lakosság száma, mint korábban egy évezred leforgása alatt. A szerző fel is állít egy hipotetikus képletet. Felteszi, hogy ötmillió évvel ezelőtt mindössze 25 000 emberős élt a Földön, nagy részük talán éppen Kelet-Afrikában. Ha a természetes szaporodás valóban egy ezrelék körüli volt csupán, akkor a Föld lakossága i.e. 10 000 táján érhetette el a 10 millió főt. Ez az érték hihetőnek látszik és általánosan elfogadott a kézikönyvekben.

A 10 millió ember néhány százezer csoportban élhetett ekkor, szétszórva az öt kontinenesen. Statisztikai szempontból nézve átlagosan több mint 14 km² jutott egy főre. Ez nagyon szép vadászmező, ha az egész földfelszínt tekintjük. Az ideális vadászterület ennek egy része (erdős-ligetes térsége, a folyók, tavak és a tenger-part övezetei), hiszen a sivatagokat, magas hegységeket, sarkvidéket stb. nem vehetjük számításba. A szűkebb édenkert 2-3 km²/fő lehetett i.e. 10 000 körül. Ismeretes, hogy ekkor húzódnak vissza az utolsó jégkori gleccserek, megnő az óceánok szintje, vízzel borítva el a mélyebben fekvő termékeny parti vadászmezőket. Megszületik a mai Szahara a régi Zöld-Szahara helyett. Két folyamat találkozik tehát drámai következményekkel. A Föld 1/5-e a sós víz alá kerül, ez Afrika méretű terület. Amit nem lep el a víz, az is kietlenebbé válik, a füves pusztaság részben elsivatagosodik.

Az élettér beszűkül, a gyűjtögető-vadászó életmód már nem képes a Föld lakosságát eltartani. Az emberi közösségek mindent elkövetnek, hogy ne kelljen áttérni a letelepült életmódra és a földművelésre. Ekkor húzódnak kis csoportok a tajgába, a grönlandi hómezőkre, a forró Kalahári sivatagba, vagy az Andok és a Himalája magas vidékeire. Oda, ahová önként korábban nem kíváncszott senki. Az élettér hiánya éhséget és háborút jelentett. A földművelésre kényszerült közösség azonban megmenekült. Nagyságrendekkel nagyobb népességet tarthat el, mint a korábbi életforma. A versenyfutás azonban tovább tart, hiszen a letelepüléssel újabb népességrobbanás járt együtt. Ma még nem teljesen ismert az a biológiai mechanizmus, amely a gyalog-nomád társadalmak születésszabályozását irányította és alacsonyan tartotta, de a letelepedés erre gyakorolt hatását sem értettük meg igazán.

Ha hinnénk a jövőre vonatkozó formális extrapolációkban és prognosztikákban, akkor azt a következtetést kellene levonnunk, hogy az emberiség fejlődésének már az ősközösségi társadalomban meg kellett volna szakadnia. Vítathatatlanul már akkor is voltak a vadászat és a gyűjtögetés extenzív bővítésének fizikai korlátai. A neolit kor agrárforradalma ezeket a határokat megszüntette, a földművelés és az állattenyésztés sokszorosára növelte a természeti erőforrásokat. A technológiai optimizmustól azonban újra eljutottunk az ökológiai pesszimizmusig. Részben a demográfiai nyomás eredményeként, részben az újkori technológiák miatt.

A növekvő népesség létfeltételeinek (benne az élelmezés) újratermelése állandó lépéskényszert jelent, ettől függ Földünk békéje és jövője. Hasonló kihívással, amint láttuk, már szembe kellett nézni az embernek. Hogyan oldotta meg a problémát, mi a tanulság számunkra, milyen alternatívák lehetségesek? Milyen

viselkedésformák bizonyultak zsákutcának? Hiszen birodalmak és népek tűntek el nyomtalanul a történelem folyamán. Mindezekre is tekintettel kell lennünk, amikor az ember és a környezet viszonyát, benne az elemforgalmat vizsgáljuk.

Logikus, hogy mivel a Föld véges, a földi népesség növekedése sem lehet végtelen. Ahhoz, hogy a néhány tízezer emberösből 10-20 milliós népesség legyen, mintegy 5 millió év kellett az i.e. 10 000 körüli időig. A 100 millióra becsült népesség i.e. 2500, a 250 millió fő i.sz. körül, az 500 millió a középkor végén, míg 1900-ban 1600 millió, 1970-ben 3600 millió, 2000-ben 6-7 milliárd, 2050-ben 10-12 milliárd fő népességgel számolnak. A feltevések szerint itt állhat be majd valamilyen egyensúly, és további növekedést nem feltételeznek. Az újkori technológiák és a környezetszennyezés azonban módosíthatják ezeket a jövőképeket.

Az ember igazán akkor ütközött össze környezetével, amikor a környezete, mint természeti lényt nem tudta tovább eltartani. Amikor a gyűjtögetés, a vadászat és a halászat erőforrásai elégtelenné váltak, a vadászmező kicsi lett. Az ásóbotos, emberi munkaerőre alapozott kezdetleges kapás földművelés okozta sebeket a vándorló földművelés korszakában, amikor a népesség alacsony volt, a természet még képes volt begyógyítani. Az állati vonóerőt igénybe vevő ekés földművelési rendszerek azonban már az ókorban is maradandó környezetkárosítást okoztak.

A föld kiterjedt művelésbevétele, feltörése, felégetése, az erdőirtások, az öntözés vagy az egyoldalú talajhasználat általában talajpusztulást okozott. A szakszerűtlen beavatkozások nyomán fellépett az erózió, talajpusztulás, szerkezetromlás, szerves anyag csökkenése, elszikesedés, tápanyagokban való elszegényedés. Az ókori birodalmak pusztulásához döntő mértékben járulhatott hozzá a talajok degradációja, hiszen belső gyengeségüket, elnéptelenedésüket ez okozta. Megemlíthető Mezopotámia elszikesedése az öntözés, Görögország talajainak pusztulása és kopár hegyeinek kialakulása a helytelen gazdálkodás, vagy Róma talajainak elszegényedése az egyoldalú talajzsaroló művelés miatt.

A birodalmak tartósságát, alapját a talajtermékenység megőrzése biztosította. A római birodalomban is megnyilvánult ez a törekvés. A földművelési ismereteket (görög szóval georgica) a római írók már rendszerezték és könyvekben ránk hagyták: Cato, Varro, Vergilius és mások. Tankölteményeikben is nyomon követhető az okszerű gazdálkodás és a falusi élet felmagasztalása. A paraszti munkáról, az akkori gazdálkodásról pl. sokat elárul Vergilius GEORGICA (i.e. 29) című munkájának néhány sora:

"...Az évszakok változásakor kezdett vetni, de előbb megtisztította a vetőmagot, kiválogatta belőle a bükkönyt, a farkasbabot és a többi belekeveredett főzelékmagot. És mivel tudta, hogy a len, a zab és a mák kiszipolyozza a talajt, ezért minden évben mást vetett, miután zsíros ganéjjal megtrágyázta a földet vagy beszórta hamuval. Nyár végén, amikor már a termés ott szökölt a mezőkön, füstölögték a sercegő tarlók. A paraszt azt gondolta, így gazdagodik a föld rejtett energiákkal, vagy a tűz elpusztít mindent, ami tisztátalan, mert kiizzasztja a talajból a fölös nedveket."

Amint látható, a gazdák ismerték a tiszta vetőmag, a vetésforgó, a pillangósok, a trágyázás, valamint a tarlóégetés (szalmaégetés, amennyiben az aratás sarlóval történt és a kalászkok begyűjtésére korlátozódott) jelentőségét. A későbbi

évszázadokban a birodalom erejét jelentő kisbirtok, vele az okszerű gazdálkodás hanyatlásnak indult. A rómaiak kimagasló eredményeket értek el a városépítésben, a városi környezet megőrzésében. Megtanulták, hogy a városépítést a föld alatt kell kezdeni. A csatornázással, szennyvizek elvezetésével és a hulladék rendszeres elhelyezésével biztosítható az egészséges környezet, fenntartható a higiénia. A városi népesség vízellátását vezetékes tiszta víz biztosította. Eredményeiket, városaikat és műtárgyaikat ma is csodáljuk. A középkor Európája minderről megfeledezett, így állandósultak a járványok és a sorozatos katasztrófák, a népesség pusztulása főként a városokban.

Igaz, mindez nem vonatkozott a "beszélő szerszámra", a rabszolgákra. Elképzelni is nehéz, milyen állapotok uralkodhattak az akkori munkahelyeken, bányákban és ipari jellegű üzemekben. Az ólomtermelést ebben a korban 27 ezer t/év mennyiségre becsülik (In: Fergusson 1991), mely döntően a római birodalomból származott. A rómaiak tetőfedésre, vízvezetékre kiterjedten használták a fémeket. Ismerték és előállították a napjainkban toxikusnak vagy környezetterhelőnek tartott elemek közül az arzént, higanyt, ezüstöt, aranyat stb. Arzént főként a rágsálók irtására használták. A Hg toxikus hatásával is tisztában voltak, a Hg bányákba büntetésként küldték a rabszolgákat, ahol a várható élettartam 6 hónapot tett ki. Mivel a rómaiaknál az ólom igen elterjedt, mely idegméreg, a vezető arisztokrácia bizonyos fokú mérgezettsége nem zárható ki. Újabb vélemények szerint ez is hozzájárulhatott a lakosság degradációjához, ill. a birodalom gyengüléséhez (Purves 1985, Fergusson 1991). Lássuk közelebbről a középkort.

Perényi (1975) az elmúlt századok higiénikus viszonyait az Orvosi Hetilap hasábjain bemutatva Európában, így kezdi cikkét: "A diósgyőri vár falából két helyen kőfülle mered a mélység fölé. Nem erkélyek voltak ezek, hanem a királynék várának szellős illemhelyei. A kor viszonyaihoz képest ez fejlett megoldás volt, mert másutt a bástyák orma vagy az erkélyek szolgáltak ilyen célra." A Lajosok idején Párizsban az arisztokrácia gyakran a folyosókon, termekben vagy az udvaron végezte dolgát. Amikor pl. egy lakosztály nagyon megtelt fekáliaival, lezárták és az udvar egy másik szárnyba költözött. Visszaköltözés előtt a mumifikált ürüléket kisöpörték. A versaillesi kastélyban volt egy fürdőszoba is, de ezt később átalakították szökőkúttá - jegyzi meg a szerző.

A középkori városok égbe nyúló katedrálisai árnyékában a szenny is az eget ostromolta. A disznók szabadon futkostak az utcán, a szemetet is oda ürítették. A lakosság a nyílt utcán és a háztetőn végezte dolgát, az éjjeliedény tartalmát egyszerűen kiöntötték az ablakon, vagy a férfiak az ablakhoz álltak e célból. A szabályzat előírta ugyan, hogy ilyenkor ki kell kiabálni: Gardez l'eau! (Vigyázat, víz!), de ezt nem vették túl komolyan. Nagyobb esők után a szennyvíz az utcákat elöntötte, ezért pallókon közlekedtek. "Előbb azonban meg kellett várni, amíg a háztetőkről lemosott széklet lecsurog, mert az ereszcatornák építését csak 1764-ben tették kötelezővé." Csatornázva a városok nem voltak. Ez az állapot lényegében a 19. századig fennmaradt. Amikor az 1700-as évek végén szigorúan megtiltották a szennyvíz és a szemet utcára ürítését, az intézkedés általános fölháborodást váltott ki a városi lakókból.

Az akkori "tudomány" az ürüléket gyógyszernek tartotta, a Dreck-apotheke az 1800-as évek végéig fennmaradt helyenként. Perényi idéz egy 17. századból származó receptet, melyet régies magyarra így ültettek át: "Vegyél három kis egér ganéllyt, dörzsöljed szájvel és idjad meg egy kanáll hús levében. Segített." Ebben nincs okunk kételkedni, minden bizonnyal segített terjeszteni a fertőzést, a salmonellosist stb. Elterjedt háziszser lehetett az egérürülék, hiszen az egyik pozsonyi orvos bajusz- és hajnövesztő szernek ajánlotta. Még a sebkenőcsök is ürüléket tartalmaztak. A tisztaság egyet jelentett a feslett életmóddal, hiszen az örömlányok többnyire a fürdőkben tanyáztak.

A nőket helyenként (Harz vidék) ünnepélyes menetben kísérték egy kijelölt fürdőbe esküvőjük előtt, hogy életükben másodszor megfürödjének. A férfiak lovaggá ütéskor ünnepélyesen kezét és arcot mostak. "Amikor Árpádházi Szt. Erzsébet környezete már nem bírta az erényesség szagát, rávették, hogy fürödjön meg. A királyleány ruhástul megmártotta magát, de nyomban kiugrott a vízből, majd napokig böjtölt és imádkozott, hogy bűnét levezekelje."

A szerző idézi Montaigne 1580-ban írott elragadtatott tudósítását a német házak magas fokú tisztaságáról: "...az ágy mellé a fal felől mindig vásznat vagy függőnyt akasztanak, hogy a köpések ne piszkítsák össze a falat." Mátyás udvarában is kézzel ettek a közös tálból Budán, a zsíros ujjaikat azonban tiszta, fehér szőrű kutyák bundájába törölhették közben. A kórházakban elképesztő állapotok uralkodtak. Néha több beteg is feküdt egy ágyon, lázas betegek, himlősök és gyermekágyasok vegyesen. A műtéteket érzéstelenítés nélkül végezték a többi beteg előtt, a műtő a hullakamra mellett kapott helyet.

A nagyobb járványok ilyen körülmények között elkerülhetetlenek voltak, Európa időnként szinte elnéptelenedett, különösen a városok. Párizsban kb. százezer lakosa volt az 1400-as években, de egy pestisjárványt követően alig négyezren maradtak. A halottakra csak sebtében szórtak néhány lapát földet, a temető szörnyű bűzt árasztott. Meleg nyári napokon a tömegsírokat kibontották és a hullákat a kerítéshez támasztották száradni. A párizsi Ártatlanok temetőben 1746-ban egy 1500 halottat befogadó tömegsír füstölni kezdett, máskor a környező házak pincéiben kialudtak a gyertyák. "Ezek az állapotok már az sem rontott sokat, hogy a temető mellett húzódtott az akkori Párizs leghosszabb (120 m) háza, amelyben sem szemétyűjtő, sem árnyékszék nem volt, ezért a lakók mindent a temetőbe dobáltak" (Perényi 1975).

Gyermekkorunkban, a háború előtti Magyarország némely településén még nem volt külön árnyékszék. Dolgát végezendő az udvaron levő trágyakazalhoz vonult a család, vagy a kerítéshez (a túloldalról a szomszéd tette ugyanezt). A kút gyakran alig pár lépésre volt a trágyadombtól, nagyobb esőzések idején a trágyalé közvetlenül is bekerülhetett. Nem beszélve az átszivárgó szennyvízről. A falusi kutak nitráttérhelése elképesztő lehetett, hiszen ma is számos helyen az. Nem tudjuk, hogy a korábbi magas csecsemőhalandósághoz mennyiben járulhatott hozzá ez a körülmény. A középkor, mégpedig a "sötét" középkor a közel-múltig tartott tehát Európa egyes vidékein, és fellelhető ma is Ázsia, Afrika szegényebb térségeiben.

Talán helyénvaló megemlíteni, hogy a szegénység önmagában nem zárja ki a társadalom stabilitását vagy fejlődését. Az anyagi gazdagság és az ember környe-

zethez való viszonya, a higiénia foka sem kapcsolódik egybe szükségszerűen. Korea, Kína, Japán ősi társadalmi ugyan a létminimumon éltek és helyenként élnek, de rendkívül tiszták. A nagy népsűrűséggel magas fokú higiénia, a környezet megóvása járt ill. jár együtt. Más a helyzet olyan szegény régiókban, mint India, az arab világ és Afrika kiterjedt térségei.

A légkör elszennyeződése szorosan összefügg az energiafelhasználással. Amikor elfogyott a fa és rákényszerültek a széntüzelésre, jelentkeztek a panaszok (1723-ban Angliában). Az ipari forradalmat követően ez a hatás erősödik, a századfordulót követően pedig az ipari negyedekben megjelenik a szmog. A háború óta előretört a kőolaj és termékei, valamint a vegyipar. A szennyező anyagok mennyisége és minősége megváltozik, a levegőszennyezés már egész régiókat érintett. Ma már a regionális, kontinentális és globális szennyeződés kérdése került előtérbe (Várkonyi 1982).

9.4 A környezetvédelem kialakulása, nemzetközi és hazai előzményei

A jelenkori civilizáció által okozott veszélyek globális és távlati, hosszan tartó jellegét nem régen ismerte fel az emberiség. A környezetvédelem újkori filozófiája ezért nem tekint vissza hosszú múltra. Sokak szerint Rachel Carson (1962) *Néma Tavasz* címmel megjelent munkájához köthető az új korszak, aki mint szakíró igen megrázóan ecsetelte a kémiai anyagok, elsősorban a DDT és más peszticidek, gomba- és rovarölő szerek alkalmazásának tragikus következményeit az Egyesült Államokban, előrevetítve a jövőt. A népszerű mű több kiadást megért és talán elindítója volt egy társadalmi mozgalomnak az USA-ban. A szerző azonnal a támadások keresztútjába került. Nemcsak a hivatalos fórumok támadták, elsősorban az USA Mezőgazdasági Minisztériuma, hanem az érintett szaktudományok képviselői is.

A hatalom és a szűkebb szaktudományok képviselői elvakultan és szokatlan dühvel, sokszor a pejoratív kifejezéseket sem kerülve léptek fel a később már betegeskedő öreg hölgygel szemben. Graham (1970) külön könyvet szentelt annak az ütközetnek, mely a környezet védelmében folyt Carson tanulmányát követően. A számunkra is igen tanulságos olvasmány feltárja a hatalom és a vele összefonódott szaktudósok első pillanatra érthetetlen reakcióit, motivációit:

- ismeretelméleti motívum, mely a szűk szakmai vakságból táplálkozik,
- valamint az anyagi, egzisztenciális érdekelttség motívuma.

A vegyipar és a mezőgazdaság a termelés mennyiségi növelésében érdekelt. Ebben az érderendszerben összefonódik a termelő, a termelésirányító hivatalnok, valamint a megbízást nyerő kutató. A mezőgazdasági kutatás és oktatás alapvetően függ (hasonlóan mint hazánkban) a Mezőgazdasági Minisztériumtól, az e területen tevékenykedő kutatók és oktatók egzisztenciálisan is érdekeltek a növényvédőszeres és műtrágyák elterjesztésében, ill. kifejlesztésében. Mindez nem teszi számukra lehetővé, hogy kitörjenek szűkebb szaktudományuk korlátaiból és felismerjék pl. a kemizálásnak a tágabb környezetre gyakorolt negatív hatását. Megjegyezzük, kísértetiesen hasonló "ütközetnek" lehettünk

tanúi az elmúlt évtizedben Magyarországon, hasonló motivációkat és mechanizmusokat tapasztalva.

A globális környezeti válság felismeréséhez időre volt szükség, a környezeti "tudat" lassan alakult ki. A globális környezetszennyezés problémája azonban a 60-as évek végén már a nemzetközi fórumok elé került. Az ENSZ akkori főtitkára, U Thant 1969-ben drámai hangon ecseteli a helyzetet. A főtitkár a fegyverkezést, a környezetszennyezést, a népességrobbanást és a gazdasági stagnálást jelölte meg az emberiség előtt álló fő problémákként, melyek csak nemzetközi összefogással oldhatók meg. Idézzük néhány gondolatát:

"Az emberiség történelme során most első ízben vagyunk tanúi olyan világválság kibontakozásának, mely mind a fejlett, mind a fejlődő országokat érinti. Az emberi környezet válságáról van szó. A helyzet romlását nemzetközi összefogás nélkül nem állíthatjuk meg... Amennyiben ilyen együttműködés nem jön létre az elkövetkező évtized folyamán, úgy attól félek, hogy az említett problémák túlnőhetnek az emberi cselekvőképesség határain. Amennyiben a jelenlegi irányzatok tovább folytatódnak, biztosra vehető, hogy az élet veszélybe kerül a Földön."

Rövidesen Környezetvédelmi Világértekezlet ülésezett Svédországban Stockholmban, 113 állam részvételével. Az ülés létrehívta az ENSZ környezetvédelmi szervezetét, melynek új, szakosított intézménye az UNEP, amely megszervezte az Egyetemes Környezetfigyelő Rendszert (GEMS), valamint a Nemzetközi Környezetvédelmi Tájékoztató Szolgálatot (IRS). Az elmúlt két évtizedben a korábbi szakosított ENSZ szervezetek is kialakították környezetvédelmi programjaikat (UNESCO, FAO, WHO), a nemzetközi tudományos társaságok pedig létrehozták csúcsszervüket (ICSU) és interdiszciplináris környezetvédelmi vizsgálatokba kezdtek (IBP, SCOPE). A környezetvédelmi kutatások nemzetközi és hazai vonatkozásait átfogóan Láng (1974) ismertette.

Az ENSZ erőfeszítéseivel párhuzamosan az egyes államok is létrehozzák először tanácsadó szervként a kormányok mellett működő Környezetvédelmi Tanácsaikat, majd ezt követően az önálló Környezetvédő Hivatalaikat, később minisztériumokat. Egyre szigorúbb környezetvédelmi szabványokat hagynak jóvá, ill. környezetvédelmi törvényeket alkotnak. Mindez olyan folyamatnak fogható fel, melyben az ember ráébred a közeli katasztrófa veszélyére és cselekvésbe kezd.

E téren jelentős lépésnek tekinthetjük a Római Klub megalakulását. A Klub első jelentése "A növekedés határai" címmel könyv alakban is megjelent (Meadows et al. 1972). A tanulmány elemezve az emberiség kilátásait újabb lökést adott a környezetvédelmi tevékenységnek és segített felrázni a kormányokat. Rámutatott a meg nem újítható természeti erőforrások, energiahordozók és nyersanyagok fizikai korlátaira a Földön, valamint a jelenlegi fejlődési modellek csődjére. Előre jelezte az olajválságot annak minden következményével, beleértve azt is, hogy pl. az Egyesült Államok és Nyugat-Európa kész lesz akár háborút is vívni olajérdekéiért a Közel-Keleten.

A környezetvédelem hazai megítélésében ugyanakkor egyfajta kettősség érvényesült a 70-es és a 80-as évek hivatalos köreiben. A környezetpusztulásra vonatkozó adatokat nem hozták nyilvánosságra, azok jelentős részét, mint pl.

Budapest levegőszennyezettségét, a bős-nagymarosi erőműépítés várható következményeit stb. titkosan kezelték. Nem jelenhetett meg a Római Klub jelentése, csak a vele kapcsolatos bírálatok láttak napvilágot és jutottak el az olvasókhoz. Ezzel szemben kiadták Gus Hall (1973) amerikai kommunista pártvezér könyvét, aki az osztályharc részeként értékeli a környezetvédelmi mozgalmakat és "leleplezi a tőkés monopóliumok kíméletlen módszereit, melyekkel pillanatnyi érdekeikért hajlandók a munkástömegek egészségét is kockára tenni."

A hivatalos hazai körök szerint is a környezetpusztítás a tőkés fogyasztói társadalom velejárója, sőt általános válságának jele, míg a szocialista tervgazdaságban összeegyeztethető az egyéni és a közérdek. A 70-es évek második felétől azonban a Magyar Tudományos Akadémia már egyre inkább figyelemmel kíséri a nemzetközi eseményeket. A Magyar Tudomány az 1979. évi 2. számát teljes terjedelmében a "Környezetvédelmi és Kutatási Feladatok" témának szentelte és megkísérelte felmérni a levegő, a víz, a talaj, valamint a Balaton szennyeződésének helyzetét hazánkban (Szerk: Hepp 1979).

Magyarország egyre aktívabban kapcsolódik be az UNESCO munkájába (Salgó 1986), majd felveszi a kapcsolatot a sokat szidott Római Klubbal, mely 1983-ban már Budapesten tartja egyik konferenciáját (Szerk: Vándor 1985). Magyar nyelven is napvilágot lát a Klub elnökének írása a világproblémák megítéléséről (Peccei 1984), valamint a washingtoni székhelyű Worldwatch Institute jelentése a Föld helyzetéről (Brown et al. 1988). Részben a békés rendszerváltás egyik motorját jelentő hazai környezetvédő mozgalmak nyomására elhárulnak az utolsó ideológiai és az együttműködést zavaró egyéb akadályok a környezetvédelemben érintett nemzetközi szervezetekkel ill. szakemberekkel.

A 70-es évekkel tehát a környezetvédelmi hullám elérte hazánkat. A gondok az USA-ban, Japánban és Nyugat-Európában már korábban jelentkeztek, velük együtt az okok és a kiút keresése is. Ma már egyre több magyar és magyarul megjelent munka taglalja a növénytaplálást is érintő környezetvédelem általános kérdéseit (Győri 1975, Jócsik 1976, Stefanovits 1977, Csaba et al. 1978, Ceausescu és Ionescu 1980, Vester 1982, Staub 1983, Erdősi és Lehman 1984, Szabó 1985, Major 1987, Minyejev 1988 stb.).

9.5 Viták a műtrágyázásról és a műtrágyák okozta környezetszennyezésről az 1980-as évek végén szakkörökben Magyarországon

Viták nélkül nem fejlődhet a tudomány. A műtrágyázással kapcsolatban mintegy évszázada, vagyis a műtrágyázás kezdetei óta folynak a különböző szemléletet és tapasztalatot általánosító szakemberek között a polémiák. Mindez a legtermészetesebb dolog. A 80-as évek közepén azonban a viták jellege megváltozott. Egyre inkább kettészakadt a szakmai közvélemény a műtrágyafelhasználás megítélésében. Kettészakadt a szakmai tudat, amennyiben egyre élesebben tért el a hivatalos elvárás és a tudományos lelkiismeret diktálta ítélet. Kíséreljük meg a jelenség hátterét megvilágítani.

A műtrágyafelhasználás töretlenül és dinamikusán emelkedett az 50-es évek második felétől 1975-ig, elérve a 1.5 millió tonna körüli hatóanyag mennyiséget.

Ezt követően a 80-as évek végéig lényegében stagnált, majd a 90-es évek fordulóján felére-harmadára süllyedt. Amint Nemhölczerné (1989) a vitában később megjegyzi, a hazai műtrágyagyártó kapacitás kiépítése 1960-1976 között "az 50-es évek végét jellemző gigantomániás gazdaságpolitika eredménye. Az akkori Földművelésügyi Minisztérium 1985-re 2.5 millió tonna, 1990-re 3.0 millió tonna hatóanyag-felhasználást prognosztizált.

A mezőgazdaság tényleges felhasználása mindössze 50-60 %-ban kötötte le a hat hazai műtrágyagyár összes kapacitását a 80-as években. Az alacsony világpiaci műtrágyaárak miatt az export lehetetlenné vált. A gondokat tovább növelte a Szovjetunióval kötött kereskedelmi egyezmény, amely növényvédőszer exportunk ellentételezéseként nagy mennyiségű, de gyenge minőségű műtrágya behozatalt eredményezett. Az eladatlan készletek nőttek. Az agrárközgazdász Nemhölczerné (1989) szerint: "két tényező együttesen eredményezi a vegyipar és a költségvetés képviselőinek oldaláról a műtrágya-felhasználás növelésére irányuló nyomást, amit a szak- és kevésbé szakapparátuson keresztül próbálnak elérni."

A műtrágyázással foglalkozó agrárszakemberek támogatták a műtrágya-felhasználás örvendetes emelkedését a 70-es évek közepéig, mert az a talaj termékenységét ugrásszerűen emelte, az évezredes rablógazdálkodás következményeit felszámolta, és a talajból hiányzó ill. minimumban levő tápelemeket pótolta. A műtrágya hatalmas eszközt adott a növénytermesztő kezébe. Ahol egy tápelem hiánya okozta pl. a talaj terméketlenségét, ott a nagy adagú, talajjavítást célzó melioratív vagy feltöltő PK műtrágyázás eredményeképpen a búza termését akár egy év alatt 2-3-szorosára lehetett emelni (Lásztity és Kádár 1978).

Már a 70-es évek szabadföldi műtrágyázási kísérletei rámutattak azonban az ilyen beavatkozások korlátaira, mint pl. az ionantagonizmus által kiváltott termés-csökkenés veszélye bizonyos talajokon stb. A 70-es évek második felében szükségesnek látszott az országos műtrágyafelhasználás színvonalának megőrzése, differenciáltabb táblaszintű alkalmazással, azaz a talaj tényleges tápelemellátottsága függvényében. A 80-as évek közepére ez a talajgazdagító trágyázás egyre több talajon eredményezett jó ellátottságot, majd jelentkeztek negatív hatásai. Művelt területeink nagyobbik hányadán szakmailag semmivel sem indokolható túltrágyázás folyt. Tartamkísérletek és üzemi vizsgálatok adataira támaszkodva fokozottabban hívtuk fel a figyelmet a túltrágyázás veszélyeire. Példaképpen közöljük a N túltáplálást bemutató kísérletünk adatait a 9.6 táblázatban (Kádár és Kiss 1986).

Az üzemekkel szemben ugyanakkor egyre élesebben fogalmazódtak meg az elvárások: a műtrágyafelhasználást nem csökkenteni, hanem növelni kell. E célból nemcsak burkolt módon próbálta érvényre juttatni akaratát a MÉM, hanem központi irányelveket is adott ki 1987 szeptemberében (Magyar Mezőgazdaság melléklete), melyek szerint 1988-1990. években további "20-30 %-os növekedést kell elérni a műtrágya-felhasználásban." A MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központja ezzel párhuzamosan "Új műtrágyázási irányelvek"-et bocsát ki a szakmai fórumok megkerülésével, amelyben a talajok ellátottsági határértékeit önkényesen "hozzáigazítják" a Minisztérium elvárásaihoz, hogy a szaktanácsadással növeljék az üzemek műtrágya vásárlását. Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete szakmai érvek alapján eredménytelenül kísérli meg a hibásnak vélt döntéseket

megakadályozni. Az erőfeszítéseket és az akkori állapotokat jól jellemzi a "Kritikusan a műtrágyázásról" c. vitairat (Kádár 1989).

9.6 táblázat: Nitrogén túltáplálás hatása a cukorrépa termésére és minőségére. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1981 (Kádár és Kiss 1986)

Vizsgált jellemzők, a N ellátás mutatói	N ellátás, kg/ha/év				SzD5%	Átlag
	0	100	200	300		
Adott N kg/ha/8 év	0	800	1600	2400		
Talajban talált (1981 tavaszán, vetés előtt a 0-60 cm rétegben)						
NO ₃ -N ppm	16	30	45	61	3	38
NO ₃ -N kg/ha	142	272	402	552	24	342
Termés t/ha betakarításkor						
Gyökér	45.7	55.7	54.1	53.8	2.1	52.3
Lomb	10.1	21.3	23.8	24.3	2.2	19.9
Összesen	55.8	77.0	77.9	78.1		72.1
Gyökér/lomb aránya	4.5	2.6	2.4	2.3	0.4	2.6
Tőszám db/parcella	150	138	128	117	5	133
Gyökérsúly g/db	549	727	760	829	28	716
Felvett N kg/ha						
Gyökértermésben	113	204	226	258	9	200
Lombtermésben	37	101	114	115	14	92
Összes termésben	150	305	340	373	16	292
N % a levélben						
Június 29.	3.01	4.14	4.62	4.83	0.22	4.15
Augusztus 7.	2.09	3.23	3.64	3.79	0.20	3.19
Október 2.	2.05	2.70	2.87	2.92	0.18	2.64
Gyökér minősége						
Digestio	19.4	18.2	17.4	17.0	0.2	18.0
Tisztított cukor %	16.5	15.0	13.8	13.0	0.2	14.7
Melasz %	2.8	3.2	3.5	3.6	0.2	3.3
Káros N és hamualkotók mennyisége						
N meq./100 g	4.6	6.2	8.2	8.8	1.0	6.9
K meq./100 g	5.4	5.8	5.9	6.0	0.3	5.8
Na meq./100 g	0.8	1.2	1.4	1.4	0.2	1.2
Cukorhozam						
Nyers, t/ha	8.8	10.1	9.4	9.2	0.5	9.4
Tisztított, t/ha	7.5	8.3	7.4	7.2	0.3	7.6

Talán érdemes felidézni álláspontunkat, melyet rövid emlékeztetőben is összefoglaltunk az országos értekezleten lefolyt vitát követően (Kádár 1988.):

1. Mind az országos, mind a megyei NPK mérlegek pozitívak a 80-as években. A N és K elemekre 20-40, míg a P-re 80-120 % a többlet visszapótlás a termésekkel évente kivont mennyiségekhez viszonyítva.
2. Mivel a talaj tápelemellátottságától függetlenül megközelítően azonos adaggal trágyáznak a művelt területeken, nemcsak a gyengén, hanem a már jól vagy igen jól ellátott táblák is (nemkívánatos módon) tovább gazdagodnak felvehető tápanyagokban.
3. Ez a túltrágyázás rontja egyes kultúrák minőségét, csökkenti helyenként hozamukat és feleslegesen terheli a környezetet. Becsléseink szerint csupán a termés- és minőségcsökkenés 10 milliárd Ft nagyságrendű kárt okozhat évente a mezőgazdaságnak.
4. A túltrágyázást azonnal meg kell szüntetni. Meg kell vizsgálni, miért hangoztatják egyes hivatalnokok, hogy földművelésünkre a rablógazdálkodás jellemző és több műtrágyára van szükség jelenlegi gazdálkodási viszonyaink között, félrevezetve ezáltal a kormányt és a közvéleményt.
5. A jelenlegi, eddig még vissza nem vont MÉM NAK szaktanácsadás rossz. Abból a koncepcióból indul ki, hogy több műtrágya szükségszerűen több termést is jelent. Ezt a leegyszerűsített összefüggést földművelésünk utóbbi 10 éve nem igazolja.
6. Az új szaktanácsadásba be kell építeni a gazdaságosságot (nagy termést, de nem mindenáron), a minőséget és a környezetvédelmet is. Tehát a talajok, talajvizek és növények szennyeződését mindenképpen el kell kerülni a túltrágyázás kiküszöbölésével.
7. Az agrárrolló tovább nyílik, a mezőgazdasági üzemek pozíciója romlik. A megoldás nem az, hogy a műtrágyákat dotáljuk, és azokkal pocskoljunk. A mezőgazdaság igazi érdeke, hogy valós árakon történjék az ipari eredetű anyagok (műtrágyák, gépek stb.) beszerzése, valamint a mezőgazdasági termékek eladása.

Minden bizonnyal e viták is hozzájárultak ahhoz, hogy még az akkori MÉM NAK Növényvédelmi és Agrokémiai Állomásai sem fogadták el, ill. vezették be az "Új műtrágyázási irányelvek"-et. A földművelés műtrágyaigényét befolyásoló tényezőket elemezve megállapítható, hogy a természeti és gazdálkodási körülményeken (talajaink tápelemkészlete, termésszint stb.) túlmenően a társadalmi és tudati tényezők legalább olyan mértékben befolyásolhatják a műtrágyázási gyakorlatot, mint a szűken vett szakmai szempontok. Ezek között kell megemlíteni a korábbi hatalom "elvárásait", valamint az agronómiai hamis tudat elemeit. Utóbbiak pl.:

- A vulgáris input/output szemlélet, tehát több műtrágya több termés abszolutizálása.
- A túlzott termésbiztonságra törekvés által indukált műtrágyázás, amely valójában már a termés hozamokat is veszélyeztette a túl jól ellátott talajokon.

- A konzervativizmus, mely a korábbi évtizedek szemléletének és gyakorlatának újratermelését jelentette a már megváltozott talajtermékenységi (tápelem feltöltöttség), valamint gazdasági (elszegényedő üzemek) körülmények között.

A különböző folyóiratokban indult polémiákban többen vettek részt (Kádár 1988, 1989; Debreczeni 1988, 1990; Balláné 1989; Elek 1989; Fülek 1989; Harmati 1989; Máté 1989; Nemhölczerné 1989; Sárközi 1989 stb.). A műtrágyafelhasználás növelését szorgalmazó vélemények érvelését az alábbiakban kíséreljük meg összefoglalni:

1. A műtrágyafelhasználás 1975. óta stagnál, miközben a termékek közel 40 %-kal nőttek. Utóbbi a talajok rejtett tápelemtartalékának köszönhető és a felvehető tápelemkészlet gyors csökkenését eredményezi. Ennek nem mond ellent az a tény, hogy az országos NPK mérlegünk pozitív, mert a szaldó többlete csökkenő (?) (Debreczeni 1988, 1990).
2. A túltrágyázás és a vele kapcsolatos környezetszennyezés nem általánosíthatóan országos jelenség, csupán lokálisan fordul elő a szakszerűtlen műtrágyázási gyakorlat eredményeképpen (Debreczeni 1990, Máté 1989).
3. "A műtrágyázás környezetkárosító hatását mai tudásunk szerint három úton fejtí ki: a talajok elsavasítása, a talajvizek nitrátosodása, valamint a felszíni természetes vizek eutrofizációja. Mindhárom káros folyamat elhárítására hatásos módszereket ismerünk, és ehhez nem az egyetlen és nem is a legcélszerűbb mód a műtrágyázás csökkentése" (Máté 1989).

A továbbiakban hangsúlyozták, hogy a műtrágyák savanyító hatása meszezéssel ellensúlyozható; a nitrátosodás a lassan ható műtrágyák bevezetésével, ill. a szakszerű osztott adagolással elkerülhető; a felszíni vizeink főként foszfor által indukált eutrofizációja az eróziós folyamatok megakadályozásával kiküszöbölhető. A műtrágyák mennyisége majd akkor csökkenthető, ha a tápelemforgalom zártabbá válik a mezőgazdaságban. A műtrágyák nem természetidegen anyagok: "Műtrágyázással azokat az anyagokat visszük a talajba, amelyek a természettől fogva is benne vannak, az ökoszisztéma anyagforgalmának alkotóelemei. Különböznek tehát azoktól a természetidegen mérgektől, amelyeket a nemkívánatos élőlények elpusztítására készítenek és használnak a mezőgazdaságban."

Az idézett véleményre reagálva az alábbiakat emeltük ki (Kádár 1989):

1. A hazai műtrágyák fele-kétharmada vivőanyag. A kálisóban pl. 40-50 % között fordulhat elő a klorid, melyet nem tekintünk szükséges tápelemnek. Kára közismert mind a talajra, mind a főbb növények termesztésére.
2. Természetidegen a műtrágyákban levő szabad sav és a mérgező elemek, mint pl. a kadmium, stroncium, higany, ólom, urán, arzén stb. Ezek egy része nemcsak a talajban halmozódhat fel, hanem a takarmány-élelem láncan keresztül az emberre is veszélyt jelent.
3. A gazdálkodás jelenlegi módja olyan tápelembőséget feltételez, mely a túltrágyázásra alapozódik. Ebből adódóan sok olyan vegyületet juttatunk *természetellenes formában, arányban és mennyiségben* a talajba, melyet az csak részben vagy egyáltalán nem köt meg.
4. A talajok megkötő, ill. visszatartó képessége véges. A környezeti terhelést csak egy határig képesek pufferni, utána "áteresztővé" válnak. Megnöhet a

nitrát, a klorid, a szulfátionok mennyisége, az oldható sók koncentrációja stb. A szennyező anyagok idővel a vízbe jutnak és ily módon is veszélyeztetik egészségünket.

A talajvizek sóterhelésében az intenzív mezőgazdasági termelés szerepe döntő lehet. Példaképpen a 9.7 táblázatban bemutatjuk a Vester (1982) által közölt adatokat, melyek az NSZK Pfalz megyéjére vonatkoznak. Hasonlóképpen a műtrágyázással hozzák összefüggésbe a vízminőség romlását a hazai vízügyi közlemények a 80-as évek elejétől (Steiner és Bunyevác 1981).

9.7 táblázat: A talajvizekbe mosódó sók mennyisége, kg/km²/év, NSZK Pfalz megyéjében Vester (1982) nyomán

Szennyező források	Szulfát	Klorid	Nitrogén
Temetők	0.0	0.3	4.3
Csatornák	0.3	0.4	0.1
Szeméttárolók	25	78	13
Mezőgazdaság	996	1494	1370

Az agrárkörökben közelmúltig uralkodó általános felfogás szerint a modern mezőgazdaság egyértelműen vagy alapvetően jótékony hatású a környezetre. E szemlélet főbb elemei az alábbiakban összegezhetők:

1. A kemizálás eredményeképpen nőttek a termések. Ez azt is jelenti, hogy tisztább a levegő (több oxigén termelődik). A növények trágyaként hasznosítják a széndioxidot, ásványi elemeket és szennyeződések, tehát tisztítják a levegőt, a talajt és a talajba szivárgó vizeket egyaránt.
2. A nagyobb termés jobb talajborítottsága révén csökkenti a talajpusztulást (víz- és szélerózió), közvetve a gyomosodást, valamint a nagyobb tömegben visszamaradó tarló- és gyökérmaradványai útján javítja a talaj szervesanyag-gazdálkodását, szerkezetét, biológiáját, összességében termékenységet.
3. Hasonlóképpen a növényvédőszernek is (a nagy termés biztosítása révén) az áldásos hatása a meghatározó. A pozitív hatás kifejtése után a talajokban lebomlanak, mérgező jellegüket elveszítik, és nem kerülnek az élelemláncba szakszerű alkalmazás esetén. Alapvetően pedig a szakszerűség az uralkodó. Magyarországon pedig Európában egyedülálló növényvédelmi szolgálat működik.
4. A talajok és a vizek szennyeződéséért alapvetően nem a mezőgazdaság felelős. Az ipari és kommunális szennyvizek és szennyvíziszapok (pontosan szennyvízforrások) okozzák a nitrátosodást, a nehézfém-terhelést, ill. a felszíni vizek romlását. Így pl. a Balatonba jutó és algásodást kiváltó foszfornak "csak" néhány százaléka műtrágya eredetű stb.
5. A műtrágyák ill. növényvédőszeresek használatának bírálata (esetleg szükségességük megkérdőjelezése) az egész társadalom és az emberiség jóléte elleni támadással, éhínséget és gazdasági katasztrófát előidéző bűnös tevékenységgel egyenlő (60-as és 70-es évek ítélete).

6. A kemizálás, ill. tágabban az egész mezőgazdasági tevékenység környezetet károsító hatásáról megjelenő vélemények jórészt egyszerű zszurnalisztikának minősíthetők (80-as évek ítélete).

Ami tehát a műtrágyákat érinti, az említett felfogás szerint a szakszerűtlen alkalmazásból eredő esetleges helyi környezeti károk rutin beavatkozásokkal megszüntethetők. Így pl. az elsavanyodás meszezéssel, a nitrátosodás lassan ható nitrogénnel és megosztott adagolással, az egyébként is elhanyagolható eutrofizációs effektus a szokásos erózióellenes intézkedésekkel. Láng (1974) a műtrágyázás környezeti hatásait érintve pl. felteszi a kérdést: "Jelent-e környezetvédelmi szempontból potenciális veszélyt a jelenlegi műtrágyázási szint, illetve az alkalmazott műtrágyaféleségek és a műtrágyázási eljárások felülvizsgálatra szorulnak-e? Erre a kérdésre viszonylag egyszerű a válasz. Nincs semmilyen komoly aggály, hogy az intenzív műtrágyázás környezetvédelmi szempontból káros lenne."

Amint korábban utaltunk rá, a 70-es évek közepéig kétségtelenül a szakma egésze üdvözölte az intenzív műtrágyázásra való áttérést és optimizmussal tekintett a jövőbe. Azóta már a modern kemizált és gépesített nagyüzemi mezőgazdaság átfogó kritikájára itthon is kísérlet történt (Ángyán és Menyhért 1988). A legújabb nemzetközi irodalom "hagyományos" jelzővel illeti és bevezette az alternatív, fenntartó (biológiai) gazdálkodás fogalmát.

A közelmúlt túlhajtott iparszerű gazdálkodási rendszereinek bukását részben éppen az okozta, hogy a gyakran természetellenes módon kialakított nagy táblákon a monokultúras termesztés gép, vegyszer és energia éhsége szinte kielégíthetetlennek mutatkozott. Az ipari anyagok ill. az energia rohamos drágulásával párhuzamosan jelentkeztek a környezeti gondok, melyek a gazdálkodás egészének hatékonyságát veszélyeztették. A gyakran hosszú hónapokon át fedetlen talajokon felgyorsult az erózió, az öntözött területeken előrehaladt a szikesedés és a láposodás. Erősödött az ellenálló gyomflóra, kifejezőbbé vált a monokultúrák hatványozott műtrágya-igénye és betegségrézékenysége. Mindezzel együttjárt a fajokban elszegényedő környezet, számos üzembn pedig a süllyedő általános szakmai műveltség és érdekelttség.

Bizonyos értelemben találó volt az "iparszerű termelés" elnevezés. Az ipari eredetű anyagok (gépek, műtrágyák, vegyszerek és műanyagok) felhasználása döntően meghatározta a termelést, valamint a költségeket is. Az iparszerű termelés a környezetpusztítást megsokszorozta azáltal is, hogy a kiszolgáló vegyipar, gépipar, valamint a szállítás és az energiatermelés által okozott (ipari) szennyezésnek előidézője. Hazai viszonylatban ez a szempont egyáltalán nem elhanyagolható. És nem lesz a jövőben sem, mert az agrárszféra igényeinek kielégítése bizonyos iparágak számára meghatározó jelentőségű (nehézvegyipar, mezőgazdasági gépgyártás stb.).

A továbbiakban megkísérljük áttekinteni a fontosabb tápelemek és toxikus nehézfémek környezetszennyező hatását. A mezőgazdasággal szemben ugyanis a minőségi követelmények válnak meghatározóvá a jövőben. Mind a hazai piac, mind az Európai Közösség felé történő export követelményei szükségessé teszik, hogy a mezőgazdasági termények ne tartalmazzanak káros szermaradványokat,

nitrátot, toxikus nehézfémeket stb. Az egészséges ivóvíz biztosítása feltételezi, hogy a művelt területeink zömét "vízvédelmi körzetekké" nyilvánítsuk és a mezőgazdasági agrotechnikai beavatkozások ne veszélyeztessék azokat. Utóbbi azért is fontos, mert hazánkban a víznyerés jelentős területeken felszíni és a felszín alatti vízkészletekre épül, melyek szennyeződése erősödik.

Benedek és Bulkai (1979) szerint "Falvaink 15-20 %-ában ugyanis a talajvíz fokozódó nitráttartalma életveszélyt jelent a csecsemőkre, de elősegíti az idősebbek rákos megbetegedését is. A nitrátszennyezés sok helyen 50-200 mg/liter közötti értékeket ér el, de néhol 500, sőt 1000 mg/l szennyeződés is előfordul. Vízminőségi szabványaink 20 mg/liter értékeket tekintenek elfogadhatónak, 40 mg/litert pedig tűrhetőnek. A nitrátmentesítésre alkalmazható ioncserés megoldás nagyon költséges, amellet 100 mg/l feletti koncentrációknál gyakorlatilag nem lehet róla szó. Így a legkézenfekvőbb megoldás a máshonnet távvezetéken szállított víz." Ismeretes, hogy napjainkban már több száz településen palackos vízellátásra kényszerültek. Ezzel már áttértünk a nitrátkérdésre és a nitrogénforgalomra.

9.6 A nitrogénforgalom és a nitrátkérdés

Az elem forgalmának bemutatása nélkül nem nyerhetünk képet a környezetterhelést okozó feldúsulásról, ill. az esetlegesen szükséges beavatkozásokról sem. Az elemforgalom megmutatja, hogy milyen szorosan függ össze a levegő-víz-talaj-növény-állat-ember, mint a bioszféra elemei. A levegő kerekén 78 tf %-át a kémiaiilag semleges nitrogén (N_2), 21 tf %-át az aktív oxigén (O_2) teszi ki. A növénytáplálási szempontból fontos széndioxid (CO_2) mennyisége mindössze 3 %. Ezekből a mennyiségi fizikai mutatókból fontos következtetés adódik a légkör elemeinek stabilitását és a körforgalom sebességét illetően. A száraz levegő összetételét az 9.8 táblázat közli.

9.8 táblázat: A száraz levegő összetétele Vester (1972) nyomán

Jellemzők	Nitrogén	Oxigén	Argon	Szendioxid	Levegő
Térfogat %	78.09	20.95	0.93	0.03	100.00
Súly %	75.50	23.15	1.28	0.046	100.00

A N-forgalom részletes tárgyalása előtt megemlítjük, hogy becslések szerint mintegy 300 év alatt minden CO_2 molekula egyszer az élő szervezet részévé válhat. A légkör O_2 atomja esetében ez az idő kb. 2000 év. A Föld teljes vízkészletének azonban már 2 millió évre volna szüksége az átalakuláshoz. A növényi fotoszintézis során bomlik fel a vízmolekula. Az O_2 felszabadul, majd a légzés során a CO_2 és a H_2O újraképződik. A légkör O_2 tartalma tehát mai ismereteink szerint döntő mértékben biológiai eredetű, növények hozták létre és a növények tartják fenn a globális egyensúlyt. Bármilyen nagy a légkör, nem végtelen. Ma már általánossá vált annak elfogadása, hogy az egyensúly megbomlott. Nő a CO_2

és más szennyező nyomgázok tartalma, mely üvegházhatást eredményez. A légszennyezés felét az NSZK-ban már a közlekedés okozta a 70-es évek óta, mint az a 9.9 táblázatban látható. Lassan hasonlóvá válik a helyzet hazánkban is (Várkonyi 1982).

9.9 táblázat: Légszennyező források az NSZK-ban, 1000 t/év (In: Vester 1972)

Szennyező-források	CO	SO ₂	NO _x	Szén-hidrogének	Por/korom
Tüzelőberendezések	-	3600	700	100	3200
Termelő üzemek	-	300	200	900	800
Közlekedés	8000	100	1100	1000	-
Összesen 1969/70	8000	4000	2000	2000	4000
Összesen 1980	8000	4500	4000	3500	2000

A légzés is összeköt bennünket az állatokkal, növényekkel. Levegő nélkül az ember percekig, víz nélkül napokig, élelem nélkül hetekig-hónapokig élhet. Naponta mintegy 10-20 m³ levegőt lélegzik be a felnőtt, melyből kb. 0.5 m³ O₂-t használ fel, ill. CO₂ alakjában lehel ki a levegőbe. Fény nélkül a növények is lélegeznek és CO₂-t termelnek. Egy átlagos gépkocsi ugyanennyi idő alatt azonban annyi O₂-t használ el, mint 800 ember. Egy kisebb erőmű pedig annyit, mint egymillió ember (Vester 1982). Potenciálisan a légkör O₂-ja is veszélyeztetett tehát. Az okok az alábbiak:

1. Rohamosan csökken a talajjal és zöld növényzettel borított felület a Földön. Terjed az erózió, elsivatagosodás, útépités, őserdők irtása stb.
2. Az évi szerves anyag és oxigén produkció 2/3-át a vízi ökoszisztémák adják, melyek szennyezése (főként a tengerek olajszenyezése) csökkentheti teljesítőképességüket.
3. Ezzel szemben nő az emberi tevékenységre visszavezethető CO₂ termelése: közlekedés, energiatermelés, az erdők irtása és égetése, fosszilis tüzelőanyagok elégetése nyomán.

Kétségtelen, hogy az emberi tevékenység elsősorban az ún. nyomanyagok légköri koncentrációját változtatja meg. Ha pl. az összes fosszilis tüzelőanyagot elégetnénk, a légkör oxigénszintje csupán alig 2 %-kal csökkenne. A széndioxid koncentráció ezzel szemben tízszeresére növekedne, amennyiben a képződött széndioxid teljes egészében a levegőben maradna. Az antropogén széndioxid, metán, dinitrogénoxid és a freon névvel illetett halogénezett szénhidrogének kibocsátása azért veszélyes, mert e gázok elnyelik a felszín által visszavert hősugárzást, üvegházhatást eredményezve. A freonok, valamint a műtrágyázással is megnövelt N₂O a sztratoszféra ózonpajzsára is károsak (Mészáros 1985). A fontosabb nyomgázok természetes és antropogén emissziójáról a 9.10 táblázat adatai tájékoztatnak.

A tápelemek forgalmát vizsgálva az ökoszisztémában megállapítható, hogy a vegetáció, mint az ökoszisztéma része versenyez a rendszer más elemeivel a táp-

anyagokért. A rendszer elemei (atmoszféra, hidroszféra, pedoszféra, litoszféra, bioszféra) egyidejűleg tápanyagokat is szolgáltatnak. Fontosságuk természetesen nem azonos, hiszen pl. az atmoszféra elsősorban N-forrás, míg a K-készlet jelentős része a litoszféra agyagásványaiban van. A rendszer elemei kölcsönhatásban vannak egymással, ahol a csomópontot a vegetáció jelenti. Az ásványi anyagok forgalma ugyanis a vegetáción keresztül valósul meg alapvetően a rendszer említett tagjai között.

Az ásványi anyagok vándorlásának több útja lehet, de a növénytermelés szempontjából csak egyetlen út a kívánatos, amely a növény általi hasznosulást eredményezi. Az egyes tápelemek viselkedése a minőségüktől függ. A N és a S pl. előfordulhat különböző vegyértékekkel, így nő átalakulásuk lehetősége és megjelenésük a különböző alrendszerekben. A P és K mozgása ezzel szemben korlátozott. A K vegyértékét nem változtatja. A N-forgalom 3 alciklusból áll, úgymint elemi, autotrof és heterotrof alciklusból.

9.10 táblázat: Különböző légköri nyomgázok természetes (biológiai) és antropogén emissziója Mészáros (1985) szerint

Gáz jele	Biológiai forrás		Antropogén forrás	
	jellege és relatív erőssége,	%	jellege és relatív erőssége,	%
CO ₂	Légzés, bomlás	96	Tüzelés, erdőirtás	4
CH ₄	Anaerob bomlás	95-98	Bányászat, ipar	2-5
	Bélfermentáció	(40-70)*	Rizstermesztés	(30-60)*
CO	Metán oxidációja	50	Tüzelés, közlekedés	50
N ₂ O	Nitrifikáció, denitrif.	92	Tüzelés, műtrágyázás	8
NH ₃	Bomlás, emésztés	90	Tüzelés	10
	Állattenyésztés nélkül	(50)	Állattenyésztéssel	(50)
NO ₂	Nitrifikáció	50	Tüzelés, közlekedés	50
SO ₂	Szerves kén oxidációja	26	Tüzelés	74
CCl ₃ F	-	0	Spray-hordozók	100
CCl ₂ F ₂	-	0	Hűtőfolyadékokban	100

* Ha a rizstermesztést antropogén, az állattenyésztést biológiai forrásnak tekintjük

Az újabb becslések szerint a Föld N készletének 98 %-a a kőzetekben és ásványokban, tehát a litoszférában található főként fémmnitrdek, ill. az agyag-ásványokban ammónia formájában. Meghatározók az elsődleges magmatikus kőzetek, melyek az össz-nitrogén 97.8 %-át tartalmazzák kötött formában. Ez a nitrogén gyakorlatilag nem vesz részt a N körforgásában, a vulkánikus gázokkal légkörbe kerülő mennyiségtől eltekintve. A hiányzó 0.2 % az üledékes kőzetekben lelhető fel. A légkör 1.9 %-ot kitevő N-készlete stabil molekuláris N, mely forrással szolgálhatott évmilliókon át az élőlények, valamint a közelmúlttól az ipari N-

megkötés számára. A Föld N készletének biogeokémiai eloszlását Haynes (1986) nyomán a 9.11 táblázat szemlélteti.

Az élő szervezetekben, műtrágyákban levő N előbb-utóbb az atmoszférába kerül valamilyen formában (NH_3 , N_2O , NO_2 , N_2 stb.). A becslések szerint mintegy 16 millió év kell ahhoz, hogy a légkör nitrogénje újra eltűnjön az atmoszférából, az elemi alciklusból. Rosswall (1976; In: Haynes 1986) szerint a szárazföld felszínén biológiai formában megkötött N készlete az alábbiak szerint oszlik meg: 4 % a növényben, 94 % a talaj szerves anyagaiban, 1 % a talajba került növényi maradványokban, 0,8 % ásványi formában, 0,2 % a talaj mikro-szervezeteiben. A szárazföldi bioszféra egészének N-forgalmáról a 9.12 táblázat adatai nyújtanak áttekintést.

9.11 táblázat: A Föld N-készletének biogeokémiai eloszlása Haynes (1986) szerint

A N-készlet forrásai	Összes tömege %	Összes tömege millió t N
Litoszféra		
Vulkanikus kőzetek	97.8	$1.9 \cdot 10^{11}$
Üledékes kőzetek	0.2	$4.0 \cdot 10^8$
Atmoszférában	1.9	$3.9 \cdot 10^9$
Bioszférában	0.01	$2.4 \cdot 10^7$
Óceánokban oldott	0.01	$2.2 \cdot 10^7$
Összes készlet	100.0	$1.94 \cdot 10^{11}$

9.12 táblázat: A szárazföldi bioszféra N-forgalma (Haynes 1986)

Bevétel	Millió t/év	Kiadás	Millió t/év
Nedves és száraz ülepedés		Kimosódás, felületi elfolyás	
Ammónia	90-200	Ásványi	5-20
Nitrogénoxidok	30-80	Szerves	5-20
Szerves N	10-100	Biogén NO_x termelése	1-15
Biológiai megkötés	100-200	Fossziliák égetése (NO_x)	10-20
Ipari megkötés (műtrágyák)	60-80	Erdőtüzek, fűtés (NO_x)	10-20
Légköri megkötés (villámlás)	0.5-30	Ammónia volatilizáció	36-250
		Denitrifikáció ($\text{N}_2 + \text{N}_2\text{O}$)	40-350
Összesen	290-690	Összesen	107-695

Az autotrof alciklus N-forgalmáért döntően a magasabbrendű növények felelősek. Az elsődleges növényi szerves N-vegyületeket részben az állatok hasznosítják, mielőtt a talajba kerül a N. Számunkra kíváncsi, hogy a N a talajban is maradjon és lehetőleg ne kerüljön át az elemi alciklusba, az atmoszférába. A

heterotrof alciklusban a C-heterotrof mikroorganizmusok dominálnak, melyek pozíciója előnyösebb a talajban, mint a növényeké:

- állandóan előfordulnak és
- tömeges jelenlétük közelebbi kontaktust valósít meg a talaj élettelen összetevőivel, mint a növény gyökerei.

Természetesen a mikroorganizmusok tevékenysége is lelassul, ha a szerves anyag C/N aránya magas. A közepes C/N aránynál már mikrobiális N-kötés is végbemehet, amelyet követ a mineralizáció (ásványosodás, elhalás). Hasonló történik a talajba került műtrágya N-nel. Kezdetben jelentős részét a mikroszervezetek elnyelhetik, majd újra megjelenik a N ásványi formában. Ez a heterotrof alciklusban jelentkező N-vándorlás a "Mineralizációs-Immobilizációs Forgalom" (angol rövidítéssel MIT) nevet viseli Jansson (1971) szerint.

A MIT agronómiai előnyös és hátrányos is lehet. Egyrészt védi az ásványi nitrogént a kilúgzás, denitrifikáció, ammónia elillanás veszteségeitől, másrészt a trágyázással növénynek szánt N-t más pályára terelheti. Az elhalt szerves anyag N-je rezervoárt képez az autotrof és heterotrof alciklusokban. Átlagos talaj 20 cm-es felső rétegének 0.1 % N tartalmával számolva ez 2-3 t/ha N-készletet jelent. A N-készlet 4/5-e lehet az elhalt maradványokban, míg akár 1/5-e a mikrobák tömegében. Ezek a N-formák egymásba átmehetnek, amint arra már utaltunk.

A mikrobák előnyben részesítik az ammónia formát a nitrát formával szemben, tehát nem csupán a talaj kolloidjai kötik meg jobban mint kationt. Ez is hozzájárul ahhoz, hogy a növények a nitrátot könnyebben hasznosíthatják. Különösen, ha egyidejűleg az ammónia-forma is jelen van, mely fedezi a mikroszervezetek N-éhségét. A növények sikerrel versenyezhetnek az ammónia-formáért is, a növekedés általános feltételei határozzák meg döntően a gyökerek versenypozícióit a talajban. Általánosságban azonban elfogadott, hogy a N 5-30 %-a elvész a növénytermelési rendszerekben, míg 30-60%-a az állattenyésztésben.

A takarmányok N tartalmának átlagosan 15-20 %-a kerül a tejbe, húsba stb. A maradék 80-85 % 2/3-a a vizeletbe jut, melyből közel 2/3 rész elvész ammónia formájában és a denitrifikáció során. A bevitt összes N mintegy 40 %-a tehát átlagos körülmények között gázalakú veszteséget szenvedhet. A veszteség másik forrása a nitrát formában történő kilúgzás, mely a művelt területeken jelentős. A nitrátterhelés okozói az alábbiak lehetnek (Rohmann 1986):

1. Helyi vagy pontszerű terhelésből származók, mint a
 - szennyvizekből elszivárgó nitrát (ipari, kommunális, hígtrágya stb.)
 - hulladék lerakóhelyekből elszivárgó nitrát.
2. Nagy felületen fellépő nem pontszerű terhelésből származók, mint
 - az altalaj ásványi összetételéből,
 - csapadékból és felszíni vizekből,
 - talajhumusz ásványosodásából, valamint
 - szerves trágyákból és N tartalmú műtrágyákból eredő nitrát.

A pontszerű vagy helyi források csak korlátozott jelentőségűek és ugyanakkor könnyen ellenőrizhetők. Erre jó példák a falusi kutak, melyekben gyakran

200-500 mg/liter NO_3 tartalmat mérnek. Az ivóvizekben ezzel szemben 40-50 mg/liter NO_3 , azaz 10-11 mg/liter $\text{NO}_3\text{-N}$ a megengedett a fejlett országokban. A mezőgazdaságilag hasznosított területen nem pontszerűen jelentkező N-terhelések közül a talaj szerves anyagaiból (humusz, gyökérmaradványok) és a trágyákból származó N-t tekintik döntőnek. Az intenzíven műtrágyázott területeken fő szennyező a N-műtrágya. Mivel a nitrát alapvetően a vízzel mozog, a kilúgzott nitrát mennyisége az átszivárgott víz mennyiségétől és annak nitrátkoncentrációjától függ.

Lássunk néhány adatot a lehetséges N-veszteség mértékéről kimosódás útján az intenzíven öntözött és trágyázott gazdálkodásban. Lund et al. (1978) becslései szerint az egyik kaliforniai öntözött területen az öntözővízzel és a N műtrágyával bevitt N 24 %-a nem volt kimutatható és feltehetően a levegőbe távozott. Pratt (1984) összegezve a kaliforniai völgyekre kapott felvételek adatait megállapítja, hogy a kilúgzás által okozott N-veszteség 180 kg/ha. Ez a 3.5 millió ha területre vetítve 630 ezer tonna mennyiséget jelenthet, mely kb. 50 %-a az összes N-felhasználásnak (szerves+műtrágya).

A gyepek növelik a talaj szervesanyag készletét és ezzel N-tartalmát. A gyepek feltörésekor már az első évben a füvekben tárolt N 20-30 %-a mobilizálódhat. Különösen nagy NO_3 -terhelés léphet fel a szántóként használt mély lápokon, ahol 1-2 cm tözegcsökkenéssel akár 1500-3000 kg/ha N is felszabadulhat. A humuszképződés ugyanakkor mérsékelt marad (Kuntze 1983).

Kreutzer (1983) az NSZK erdeiben végzett vizsgálatok alapján megemlíti, hogy az erdők nagy része alatt a talajoldat, ill. az átszivárgó víz nitráttartalma alacsony, 3-4 mg $\text{NO}_3\text{-N}$ /liter. Esetenként azonban az erdő sem lát el "vízvédelmi" funkciót, mert 50-100 mg NO_3 /liter értékek is előfordulnak némely égerállomány alatt (mely N-fixációra képes), valamint olyan erdőgazdasági beavatkozások hatására, mint a trágyázás, meszezés, irtás, felújítás.

A tartós gyepek, nem trágyázott rétek és legelők alatt ugyanakkor szinte nem beszélhetünk kimosódásról, mivel a talaj állandóan növényvel borított és a füvek alacsonyabb hőmérsékleten is vesznek fel vizet, valamint nitrogént. Amberger (1983) Németországban 130 kg/ha N trágyázás esetén agyagos talajon mindössze 3, homokon 7 kg/ha N veszteséget mért kísérleteiben, gyepeken. Kalászosok alatt ez a veszteség 4, míg kapások alatt 6-szorosára emelkedett ugyanazon a talajon.

A szántóföldi zöldségfélék alatt az erős trágyázás nyomán egy nagyságrenddel nagyobb lehet a talajok ásványi N-készlete és a kilúgzás. Wehrmann és Scharpf (1983) az éves N-veszteségeket németországi viszonyok között 100-300 kg/ha között találta. Részletes vizsgálatok ugyan nem állnak rendelkezésünkre itthon, azonban a hasonló termesztési és trágyázási szokásokból arra következtethetünk, hogy az elmúlt két évtizedben a kilúgzás mértéke hazánkban is ehhez közelálló lehetett.

Walter és Resch (1983) a német Mosel környéki szőlők talaját elemezve megállapítják, hogy erőteljes 200-400 kg/ha N túltrágyázás eredményeképpen a N-kilúgzás mértéke a 200 kg/ha mennyiséget is gyakran eléri vagy meghaladja. Az okok között említik:

- a szőlő viszonylag rövid tenyészidejét (180-190 nap),

- az alacsony tószámot (4-5 ezer szőlőtőke hektáronként),
- a tábláról elvitt szőlő N tartalmát, mely mindössze 20-30 kg/ha (a megtermett biomassa nagy része ugyanis a táblán marad),
- a szőlőtalajok nagy vízáteresztő és vízelnyelő képességét,
- a jól szellőző és könnyen melegedő humuszos talajok gyors mineralizációját.

A szerzők szerint 40-100 kg/ha a valóságos N-igény, tehát a trágyázást 1/4-ére lehetne csökkenteni a terméseredmények veszélyeztetése nélkül.

A Mosel völgyében a talajvizek és a kutak vízminősége már az 1960-as évek végével leromlott a túltrágyázás miatt. A N-trágyázás intenzitása és a talajvizek nitrátosodása közötti szoros összefüggést a 80-as évek elejéig mind a tudomány, mind a gyakorlat elutasította annak ellenére, hogy a liziméteres kísérletek eredményeit több szerző is publikálta. Ma már a Mosel völgyében az ivóvízellátás teljesen külső forrásokra alapozódik. Resch és Walter (1986) liziméteres kísérleteikben 4 évvel a N-trágyázás beszüntetése után sem tapasztaltak N-hiányt, mert a talaj elegendő N-t szolgáltatott. Csapadékosabb vidékeken a gypesítést javasolták a NO_3 -kilúgzás csökkentésére.

A nitrát könnyen redukálódik, hisz erős oxidálószerként ismert. Bizonyos talajokban ez a redukció végbemegy és nincs nitrát-probléma. Az altalajban végbemenő denitrifikációt követően is romolhat azonban a talajvíz minősége. Redukáló vegyületeként a pirit, szerves szén, lignit maradványai játszanak szerepet. A reakció eredményeképpen szulfátok, vasvegyületek, hidrogén-karbonátok szaporodhatnak fel a talajvizekben. A műtrágyák vívőanyagai ugyancsak terhelik a talajt és hozzájárulhatnak a szennyezéshez. A szuperfoszfát a 18-20 %-os P_2O_5 , ill. kerekén 9 %-os P tartalmán kívül 13 % elemi ként (kb 40 % szulfátot), a 40 %-os kálisó 10 % Na és 45 % Cl tartalmat is jelent. A műtrágyák összességükben jelentősen növelhetik a talajok elektrolit tartalmát és oldható sókészletét. Hazai vizsgálataink szerint a növények által már fel nem vett N 30-50, valamint a szulfát 20-40 %-a volt kimutatható oldható formában a talaj mélyebb rétegeiben meszes vályog csernozjomon (Németh et al. 1987).

A korábbi mérések szerint a csapadékvízzel átlagosan 15 kg N és 24 kg S tápelem érkezik a talajra évente és hektáronként (Várkonyi 1982). A hazai viszonyaink között talajainkban mineralizálódó N átlagos mennyiségét Petrasovits (1988) 30-70 kg/ha/év adatokkal becsülte, ami elfogadhatónak tűnik. Ehhez járulnak még egyéb források, mint a biológiai N-kötés, a műtrágyák és a különféle szerves trágyák nitrogénje. Amennyiben ezekkel szembe csak a tábláról elvitt növényi és eladott állati termékek nitrogéntartalmát állítjuk, eltekintve a közbülső veszteségektől, jelentős többleteket mutathatunk ki. Ezt láthatjuk a Mehlhorn (1991) által összeállított és a 9.13 táblázatban közölt adatokból.

A korábban általunk is bemutatott hagyományos agronómiai célú tápelem-mérleggel szemben felhozható, hogy a N-forgalmat igyekszik a talaj-növény rendszerre leszűkíteni. Lényegében nem vesz tudomást a rendszeren kívüli veszteségekről (levegőbe kerülő gázalakú, vízbe jutó bemosódó N), ill. a növény által hasznosítható mennyiségekre koncentrálni, fő célja a trágyaigény megállapítása. A 9.13 táblázatban bemutatott mérlegek agronómiai és növénytaplálási szempontból vitathatók, hiszen a "visszapótlás forrásai" rovatban feltüntetett nitrogén egy része el sem éri a talajt (pl. gázalakú veszteségek), mégis jól érzékeltetik a poten-

ciális vagy elvi N-túlsúlyt a fejlett országokban. Környezetvédelmi szempontból felállításuk indokolt.

9.13 táblázat: A talajok N-mérlege Ny-Európa némely országában, kg/ha, Mehlhorn (1991) nyomán. Mezőgazdaságilag hasznosított terület (*)

Ország	Hollandia	Dánia	Svájc	NSZK	Anglia	Svédorsz.
Év	1986	1980	1987	1986	1985	1976-80
Millió ha	2.3	2.9	1.1	12.0	18.1	3.7
Terméssel eltávozik						
Növényi termékkel	84	20	10	28	-	11
Állati termékkel	14	10	35	23	-	10
Összesen	98	30	45	51	17	21
Visszapótlás forrásai						
Műtrágyák	244	130	70	126	88	78
Import takarmány	173	62	25	47	5	8
Levegő	41	15	53	30	17	10
Biológiai N-kötés	5	10	65	12	17	25
Szennyvíziszapok	2	-	5	3	-	3
Összesen	465	217	218	218	127	124
Többlet	367	187	173	167	110	103

(*) Idézett szerzők: Isermann (Hollandia), Schröder (Dánia) Stadelmann (Svájc), Isermann (NSZK), Jenkinson (Anglia), Jenkinson (Svédország)

A közelmúlt hazai vizsgálatai is igazolták, hogy a 80-as években talajaink nitráatterhelése megnőtt. Nyíri és Karuczka (1989) szerint a N-kilúgzás a 30-90 %-ot is elérheti a meliorált területeinken sekély drénezés, vízszinttartás esetén. Rézhegyi és Heltai (1984) 1 m mélységnél 36-67 %, míg másfél méter talajmélységen mindössze 10 % műtrágya-N kimosódást észlelt. Lendvai és Avas (1983) a Zala vízgyűjtőjén azt találta, hogy a műtrágya-N 19-22 %-a mosódik ki nitrát formájában és kerülhet a talajvizekbe. Thyll (1984) sürgeti a talajcsövezett területek műtrágyázási gyakorlatának felülvizsgálatát, mert szolonyeces réti talajon a drénvíz nitrát-N koncentrációját 41-410 mg/liter között találta. Tóth (1984) Ny-Magyarországon a drénvizekkel 25-30 kg/ha, a felületi vízzel 26-34 kg/ha veszteséget regisztrált. Hasonló eredményeket közöl Juhász (1991), Blaskó és Juhász (1991).

A nitrát nemcsak az ivóvízzel jut be az állati vagy az emberi szervezetbe, hanem a táplálékkal is. Mindez tovább növeli az állat és az ember nitráatterhelését. A különböző növényi részek lehetséges nitráttartalmáról tájékoztat a 9.14 táblázat Marschner (1985. In: Bergmann 1988) nyomán. Amint a táblázat adataiból látható, főként a gumós és gyökértermésben, különösen pedig a zöldség-félék zöld levéltermésében halmozódhat fel a nitrát nagy mennyiségben.

9.14 táblázat: A nitráttartalom ingadozása különböző növényfajokban és friss növényi szövetekben.* (Marschner 1985. In: Bergmann 1988)

Növényfaj, szövetek	ppm NO ₃	Növényfaj, szövetek	ppm NO ₃
Vízgazdag növények		Magvak, szemtermés	1 körül
Paradicsom	20-100	Zöldségfélék zöld	
Uborka	20-300	levéltermésében:	
Borsószem	80-822	Fejessaláta	382-3520
Szőlőbogyó	3-62	Spenót	349-3890
Gumós és gyökértermés		Karlalábé	232-4430
Karlalábé	205-1685	Sárgarépa	96-4739
Burgonya	10-150	115-6689	
Sárgarépa	30-800	Káposzta	60-4200
Retek	261-2300	Takarmányok	100-3000
Tarlórépa	250-2300		

* A maximális értékek a fényszegény téli hónapokban gyakoriak

A N túlkínálata során a nemkívánatos nitrát felhalmozás úgy következik be, hogy a növényen sem látható károsodás, sem termésnövekedés nem figyelhető meg. Ha valamely környezeti tényező, mint pl. fény, víz, egyéb tápelemekkel való ellátottság stb. hatására a növény a felvett nitrátot nem képes hasznosítani és a fehérjékbe beépíteni, nitrátakkumuláció állhat elő. A téli hónapok alacsony fényintenzitása miatt a hajtított zöldségfélék nitráttartalma meghaladhatja az egészségügyileg elfogadható határkoncentrációkat. Eltérő az egyes növényfajok és fajták nitrátakkumulációs képessége, így a "nitrátszegény" fajták szelekciója is megindult. A szomszédos Csehszlovákiában engedélyezett nitrát határkoncentrációkat a 9.15 táblázatban közöljük a fontosabb zöldségfélékre (Bedrna 1990).

9.15 táblázat: Megengedett NO₃ határértékek zöldségfélékben, ppm a friss anyagban (Bedrna 1990)

Zöldségfélék	NaNO ₃	NO ₃
Vöröshagyma	100	73
Fokhagyma, póréhagyma, paradicsom, uborka, burgonya	200	146
Bab, borsó	300	219
Korai paradicsom és uborka	400	292
Sárgarépa, petrezselyem	500	365
Kel- és fejeskáposzta, karfiol, karalábé	600	438
Tök	700	511
Leveles zöldség (saláta, spenót, korai sárgarépa)	1000	730
Retek, korai karalábé	1500	1095
Korai retek és saláta, cékla	3000	2190

Műtrágyázási tartamkísérleteinkben kiterjedt vizsgálatokat végeztünk, hogy a főbb szántóföldi növények nitrátfelhalmozását megismerjük. A nitráttartalmakat száraz növénymintákban határoztuk meg az általunk adaptált, ill. kidolgozott módszerrel (Thamm 1987-88, 1990). A tavaszi árpa nitráttartalmának változását a 9.16 táblázat adatai szemléltetik az NxP ellátás, valamint a tenyészidő függvényében. A főbb megállapításokat a következőkben foglaljuk össze:

9.16 táblázat: A tavaszi (sör)árpa nitráttartalmának változása az NxP ellátás függvényében és a tenyészidő folyamán, ppm NO₃-N a szárazanyagban (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1986)

N-szintek	P ₀ Átlag	P ₁	P ₂	P ₃	SzD _{5%}	
Bokrosodásban, hajtás (V.26.)						
N ₀	704	641	714	699		689
N ₁	1791	922	839	960	728	1128
N ₂	2636	2970	2468	2765		2710
N ₃	5442	5079	5078	5030		5157
Átlag	2643	2403	2275	2363	364	2421
Kalászoláskor, hajtás (VI.11.)						
N ₀	465	453	461	454		458
N ₁	632	531	589	549	319	575
N ₂	1388	1348	1200	1413		1337
N ₃	2326	2221	2204	2367		2275
Átlag	1203	1138	1113	1195	160	1162
Aratáskor, szalma (VII.23.)						
N ₀	285	354	253	244		284
N ₁	409	408	358	380	97	389
N ₂	722	644	539	544		612
N ₃	980	943	956	894		943
Átlag	599	587	526	515	48	557
Aratáskor, szem (VII.23.)						
N ₀	201	218	211	219		212
N ₁	208	249	229	218	40	226
N ₂	233	260	247	235		244
N ₃	265	263	265	237		257
Átlag	227	248	238	227	20	235

Megjegyzés: Az SzD_{5%} értékek a sorokra és az oszlopokra azonosak

1. A nitrát elsősorban a fiatal hajtásban akkumulálódott és a N-ellátás függvényében 6-8-szorosára is megnőtt.
2. Az intenzív megnyúlás és szárazanyag-gyarapodás idején a koncentráció a felére csökkent, a tápláltság indukálta különbségek szintén mérséklődtek.

3. A nitrogénellátás hatása (a luxusfelvétel) a generatív szemtermésben már alig volt észlelhető és a nitrát koncentrációja a bokrosodáskorinak 1/10-ére csökkent. A szalma több nitrátot tárolhat, mint a szem, és a tápláltsági szituációt is képes jól jelezni.

9.17 táblázat: Néhány szántóföldi növény nitráttartalmának változása a N-ellátás, valamint a növény korának, ill. növényi részének függvényében (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, mg NO₃-N/g sz.a-ban)

Növény faja, kora, ill. növényi rész	N-ellátás N kg/ha/év				SzD ₅ %	Átlag
	0	100	200	300		
<u>Kukorica, 1976-77</u>						
Levél virágzáskor 1976	6.94	6.40	6.26	6.64	0.56	6.56
Levél virágzáskor 1977	0.15	0.20	0.24	0.29	0.03	0.22
<u>Őszi árpa, 1979</u>						
Hajtás, május 28.	0.31	1.24	2.84	3.66	0.33	2.01
Hajtás, június 11.	0.50	1.24	2.24	2.82	0.33	1.70
Szalma aratáskor	0.49	1.14	2.02	2.53	0.20	1.55
Pelyva aratáskor	0.08	0.10	0.13	0.17	0.02	0.12
Szem aratáskor	0.06	0.08	0.10	0.14	0.02	0.10
<u>Cukorrépa, 1981</u>						
Levélnyel, június 29.	1.43	3.55	6.73	9.14	1.23	5.21
Levéllemez, június 29.	0.58	1.68	4.73	5.84	0.60	3.21
Lomb betakarításkor	0.34	0.86	1.46	1.93	0.14	1.15
Gyökér betakarításkor	0.53	0.67	0.80	0.84	0.10	0.71
<u>Repce, 1984</u>						
Hajtás, április 17.	1.17	5.38	9.26	10.81	0.63	6.65
Gyökér, május 15.	0.77	1.44	2.85	3.47	0.29	2.13
Levél, május 15.	0.81	1.59	2.28	2.79	0.24	1.87
Szár aratáskor	0.44	1.01	2.02	2.58	0.24	1.51
<u>Olajlen, 1987</u>						
Gyökér, június 10.	1.15	2.60	7.35	9.15	0.88	5.10
Gyökér, június 29.	1.10	1.42	2.02	3.00	0.42	1.90
Lomb, június 10.	0.26	0.55	1.36	1.82	0.17	1.00
Lomb, június 29.	1.05	1.35	2.00	2.70	0.33	1.80
Tok aratáskor	0.23	0.27	0.44	0.66	0.08	0.40
<u>Kender, 1989</u>						
Hajtás, május 30.	2.50	4.89	5.73	6.49	0.75	4.90
Hajtás, június 26.	0.38	0.90	1.32	1.98	0.21	1.14
Levél, augusztus 21.	0.41	0.92	1.44	1.60	0.15	1.09
<u>Borsó, 1990.</u>						
Hajtás, május 11.	0.39	1.15	1.51	1.68	0.18	1.21
Szár aratáskor	0.16	0.24	0.35	0.38	0.04	0.28
Hüvely aratáskor	0.24	0.28	0.29	0.30	0.03	0.28
Szem aratáskor	0.05	0.06	0.07	0.08	0.02	0.07
<u>Sörárpa, 1986. (Részletesen lásd előző táblázat adatait)</u>						
Szalma aratáskor	0.28	0.39	0.61	0.94	0.05	0.56
Szem aratáskor	0.21	0.23	0.24	0.26	0.02	0.24

Néhány szántóföldi növény nitráttartalmának alakulását a N-ellátás valamint a növény korának, ill. a növényi résznek függvényében a 9.17 táblázat mutatja be, áttekintő jelleggel. Amint látható, a virágzáskori kukorica levelének koncentrációi akár 30-40-szeres különbséget is mutathatnak az évek függvényében. Az igen aszályos 1976. évben semmiféle trágyahatást nem kaptunk, a termések alacsony szinten maradtak, a talaj N-szolgáltatása trágyázás nélkül is kielégítő volt. Az 1977. év ezzel szemben igen jó "kukoricaév" volt, a termés-szintek megduplázódtak, a növény képes volt a felvett nitrátot hasznosítani.

Az őszi árpa hajtása bokrosodáskor jól jelezte az eltérő N-kínálatot, a nitrát koncentrációja 10-12-szeresére nőtt. Az öregedő növényi szövetekben, ill. a korrallal mind az abszolút koncentráció, mind a tápláltság indukálta különbség mérséklődött. A pelyvában és a szemben 1/20-ára süllyedt az átlagos nitráttartalom. A levélnyelben több nitrát raktározódhat, mint a répa levéllemezében, a gyökérben pedig kevesebb, mint a betakarításkori lombban.

A repcénél 1984-ben megnyilvánult az általános hígulási effektus, a korrallal csökkent a koncentráció. A fiatal hajtás kitűnt luxusfelvételével. Az olajlen gyökerében a nitráttartalom 3 hét alatt csaknem 1/3-ára csökkent, míg a hajtásban megemelkedett az átlagos nitrátkoncentráció. Mindez a nitrát rendkívüli mobilitását jelzi a növényben. A kender hajtásának és levelének koncentrációi jól jellemzik mind a N-kínálatot, mind az intenzív megnyúlással fellépő hígulást. A borsó, mint fehérjenövény kitűnik alacsony nitrátkészletével az egész fejlődése folyamán, tehát energikusan hasznosította és beépítette a felvett nitrátot. A tavaszi árpa szemtermése gazdagabbnak mutatkozott nitrátban, mint az őszi árpa vagy a borsó szemtermése.

Összefoglalva megállapítható, hogy a legtöbb nitrát a fiatal hajtásban és a levelekben található. Különösen veszélyesek a zöldségfélék, a gyümölcsökben és főként a magvakban koncentrációjuk már elenyésző. Berdina (1990) szerint pl. Csehszlovákiában az élelemmel felvett nitrátok mintegy 60 %-a a zöldségfélékből származik. A friss zöldség nitráttartalmának meghatározását a MERCK cég által kifejlesztett gyorseszti módszerével végzik. A zöldségfogyasztással okozott nitrátterhelés ismert és részben egyszerű eljárásokkal csökkenthető. Ide tartozik a nitrátdús és szennyezett növényi részek eltávolítása stb.:

- A saláta és a káposztafélék burkolóleveleinek eldobása,
- a cékla és a sárgarépa felső részének eltávolítása,
- a tök felső és alsó csúcsi részeinek kivágása,
- a sárgarépa központi hengerverszerű belsejének eldobása,
- a nitrát kilúgítása a zöldségből vízzel való átmosással,
- a saláták leveinek kinyomása és a lé eltávolítása.

A nitrátterhelés csökkentésének üzeneten belüli módszerei, tehát az előállítás során követendő eljárások szintén megfogalmazhatók az okok ismeretében:

- A betakarítás hosszú napsütést követően, a késő délutáni órákban történjen.
- A nitrátszegény fajták termesztését előnyben kell részesíteni.
- A trágyázás megfelelő idejének és módjának megválasztása szervestrágyázáskor.
- A műtrágyákat talaj- és növényvizsgálatok alapján, tényleges igény esetén alkalmazni.

- A humuszban szegény terméketlenebb talajok előnyben részesítése (különösen a gyermektápszer alapanyagot termelő, alacsony nitráttartalmú zöldségfélék előállításakor).
- A talajok alacsony nitrátkészletének biztosítása a talajnitrogén biológiai megkötésével (szalma és más tág C/N arányú melléktermék leszántása), valamint a talaj fedettségének állandó biztosításával (köztesnövények termesztése, a növényi "kivonás" folytonossága révén.)

9.7 A foszfor és a kálium forgalma, valamint a környezetterhelés

A P-ciklusban az emberi beavatkozás szerepe annyiban fontosabb, hogy az nem pótlódhat a levegőből, mint a N (a biológiai N-kötést a Földön még ma is néhányszorosára becsüljük, mint az iparit). A foszfor magmás kőzetekből kerül a tengerfenékre és ott akkumulálódik, majd a tektonikus felemelkedés juttathatja vissza a szárazföldi alciklusba. Ez a visszavándorlás nem jelentős és nem megy könnyen. A foszfor kevésbé mozgékony az üledékekben (foszforit, apatit) és a magmás kőzetek is szegények, ill. nehezen adnak le P-t a többi alciklusba.

A talaj alciklus két összetevőből áll. A talajoldatban a P mozgékony, de míg a talaj szorpciós kapacitása nem telítődik, a műtrágya-P alacsony hasznosulást mutat. Ezt követően a talaj(oldat) P-forrásul szolgál más alciklusoknak. A nehezen oldhatóság előnye, hogy a szárazföldi alciklusból nehezen távozik, évszázadokig nem merül ki megfelelő fenntartó gazdálkodás esetén. A mérsékelt, 1-2 kg mennyiségeket alig meghaladó kilúgzást ellensúlyozza az ásványosodás.

Az emberi beavatkozás hatására ugrásszerűen megnőtt az elvonás (áru-termelés, kilúgzás, erózió) és a visszapótlás. A tengerfenék üledékeit bevisszük a mezőgazdasági ökoszisztémákba, visszazárva a geológiai ciklust. A foszfátkészletek azonban összehasonlíthatatlanul kisebbek, mint az atmoszféra N-készlete. Mivel a felhasználás mértéke nő, idővel bányákat kell majd nyitnunk a tengerfenéken is, nem várhatunk a tektonikus felemelkedésekre. Ez csak a jövő távoli képe, hiszen újabb foszfátlelőhelyeket tártak fel az elmúlt évtizedekben. A foszforért nemcsak a talaj és a növény versenyez, hanem a talaj mikroszervezetei is a nitrogénhez hasonlóan, létezik tehát a mikroszervezetek alciklusa.

A talajok feltöltése foszforral egy nagyságrenddel növelheti meg a felszíni, és a felszín alatti vizek P-terhelését (kimosódás, valamint főként a víz- és szélerózió). Nyugat-Európa országaiban végzett vizsgálatok szerint ma már általánosan elfogadott, hogy a vizek nitrát, klór, szulfát és foszfát terhelésében a mezőgazdasági tevékenység döntő, akár 10-20-szorosan is meghaladhatja az ipar által okozott terhelést. Mivel a mezőgazdaság szennyezése nem pontszerűen jelentkezik, nem ellenőrizhető és nem szüntethető meg úgy, mint pl. a mosószerek gyártása esetében áttértek a foszfátmentes szerekre. A vizek tápanyagbősége eutrofizációhoz vezet, melyhez elsősorban a P járul hozzá, amennyiben a vízi ökoszisztémák termelékenységét is általában a P (kevésbé a N) hiánya limitálja.

Bekövetkezik az algák elszaporodása, majd pusztulása. A vízben oldott oxigén elfogy, az aerob bomlást követi az anaerob rothadás, amelynek termékei a metán és a bűzlő kénhidrogén. A Balaton eutrofizálódásában döntő szerepet

játszó P forgalmáról, a balatoni hínárok biogén elem felhalmozását befolyásoló terheléséről pl. Tóth (1972) és Jolánkai (1979) számolt be. Mivel az ivóvízbázis jelentős részben a felszíni vizekre épül és az eutrofizációt meghatározó P szinte észrevétlenül akkumulálódik a vizekben, a jelenség rendkívül veszélyes a környezetre. Az élővizek pusztulását okozó folyamat nehezen megfordítható, amikor már egy szintet elért. A szennyezés megszűnte után is hosszú idő (évtizedek) és óriási anyagi áldozat szükséges az eredeti állapot helyreállítására.

A kálium strukturálisan nem kapcsolódik a szerves anyagokhoz, ezért a mikrobák alciklusaiban nem vesz részt. A talajhumusz azonban szerepet játszik a K visszatartásában (kicserélhető kálium). Jelentős a K a vízi alciklusban, sok található a vizekben és üledékekben. A kálium sói kiválnak a vízből. A valamikori tengerfenék (káli-lelőhelyek) bányászása a geológiai ciklus zárását jelenti, visszacsatolását a szárazföldi alciklusba emberi tevékenység által. A K mozgékonyabb a P-nál, általában mélyebbről kell bányászni. Feldolgozása és az ára azonban olcsóbb. Eloszlása egyenetlen a Földön.

A kálium kilúgzása nem jelent eutrofizációt, mert nem limitáló tényező a vízi szervezetek növekedése szempontjából. A környezetet a K műtrágya főként mint oldható só- (K, Na, Cl, egyéb szennyeződések) terhelés veszélyezteti. A talajok természetes radioaktivitásának jelentős részét a természetes káliumban 0.0119 %-os (119 ppm) gyakorisággal előforduló ⁴⁰K izotóp okozza. A talajok K trágyázása tehát a talaj radioaktivitását is növeli (Szabó 1984).

9.8 A környezetszennyezést okozó egyéb elemek, toxikus nehézfémek

A századforduló táján a C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe elemeket tartották a növények számára nélkülözhetetlenek. Ezeket Liebig után klasszikus tápelemeknek nevezték. A tápelemek kémiai felfedezéséről, valamint esszenciális jellegük kísérletes bizonyításáról a növényekben Glass (1989) nyomán tájékoztat a *9.18 táblázat*. Amint látható, a nélkülözhetetlen vagy esszenciális elemek sora napjainkig jelentősen bővült (Mn, Cu, Zn, Mo, B). Az újabb elemek általában nagyságrenddel kisebb mennyiségben fordulnak elő a növényi szervezetben, mint az organogén (C, H, O, N, S) vagy az ún. makrotápelemek (N, P, K, Ca, Mg), bár jelentőségük semmivel sem kisebb. Amint már régebben utaltunk rá, éles határt valójában nem vonhatunk az ún. esszenciális és nem esszenciális vagy káros elemek viszonylatában sem (Pais 1991).

A környezetszennyezést kiváltó feldúsulás nemcsak olyan káros elemeket érint, mint a Cd, Hg, Pb, As, Se, Cr stb., hanem az egyéb esszenciális mikroelemeket (Mn, Zn, Cu, B, Mo), valamint makroelemeket (C, N, S, P, K) is. Az élő szervezetekben kiváltott mérgezés tüneteit és mechanizmusát átfogóan a környezeti toxikológia vizsgálja, amely néhány évtizedes múltat tekint vissza. A környezetbe kerülő elemek és kémiai anyagok nagyobb része nem közvetlenül hat a szervezetre, hanem a talajba, vizekbe és az üledékekbe kerül. És éppen ez a tartós veszély forrása, mert egy ideig rejtve marad előttünk. Amikor a szennyezés elért egy határt, a mérgezés váratlanul következhet be, a káros elemek aktiválódnak.

Az ökoszisztéma elemei, mint a talaj, képesek egy határig pufferni a terhelést. A puffervezénymechanizmus az elemek megkötését jelenti, a szűrést. A talaj

szűrő-kapacitása azonban véges, ezt túllépve hirtelen áteresztővé válik és maga is szennyező forrássá alakul. A nitrát, foszfát, káros nehézfémek stb. megjelennek a vizekben, növényekben, táplálékláncban. Meg kell állapítani ezért:

- a szennyezés kémiai összetételét, minőségét,
- a szennyezők mennyiségét (talajban, vizekben, üledékekben),
- a szennyezők oldhatóságát, mobilitásának tényezőit,
- valamint az élő szervezetek számára való felvehetőségüket és toxicitásukat.

9.18 táblázat: A tápelemek kémiai felfedezése, valamint esszenciális jellegük kísérletes bizonyítása növényekben (In: Glass 1989)

Elem	Felfedező	Évek	Esszencialitás bizonyítása	Évek
C	Ókortól ismert	?	De Saussure	1804
H	Cavendish	1766	De Saussure	1804
O	Priestley	1774	De Saussure	1804
N	Rutherford	1772	De Saussure	1804
P	Brand	1669	Ville	1860
S	Ókortól ismert	?	von Sachs, Knop	1860-as
K	Davy	1807	Lucanus	1865
Ca	Davy	1807	v. Sachs, Knop	1860-as
Mg	Davy	1808	v. Sachs, Knop	1860-as
Fe	Ókortól ismert	?	v. Sachs, Knop	1860-as
Mn	Scheele	1774	Mc Hargue	1922
Cu	Ókortól ismert	?	Sommer (Lipman-McKinnon)	1931
Zn	Ókortól ismert	?	Sommer és Lipman	1926
Mo	Hzelrn	1782	Arnon és Stout	1939
B	Gay-Lussac, Thenard	1808	Sommer és Lipman	1926

Bizonyos esetekben az akkumuláció igen lassan megy végbe. A károsodás a körülményektől függően évtizedek vagy évszázadok múlva jelentkezik. Máskor gyorsan felléphet. Fontos megismerni a káros anyag előfordulási vegyületeinek perzisztenciáját, felezési idejét. Az újabb vizsgálatok szerint pl. a svéd tavakban élő halak Hg tartalma folyamatosan emelkedik annak ellenére, hogy az utóbbi két évtizedben csökkent a svéd ipar Hg kibocsátása (Hakanson et al. 1988). Amint a szerzők megjegyzik: "...a régi svéd bűnök még mindig problémát okoznak."

A környezeti hatás tehát időben elválhat a kiváltó okoktól, ill. csökkenő szennyezéskor is bekövetkezhet a környezeti tragédia, a korábbi tevékenység következményeképpen. Lássunk egy amerikai példát. Az USA Nagy Tavainak vidékén csak a 70-es években jelentkezett a talajoknak és a vizeknek erős elsavanyodása, a csaknem 100 éves szénbányászatot és az energianyerésre történő égetést követően. A talajok pufferkapacitása mostanra kimerült és hirtelen elsavanyodtak. A nehézfémek oldhatósága így megnőtt, melynek eredményeképpen a tavakba kerültek és ott az érzékeny halfajok kipusztultak (Alcamo et al. 1987).

Hasonlóképpen az Európában tervezett 30 %-os kéndioxid csökkentés, mely az 1980-as bázisét veszi alapul, Alcamo et al. (1980) szerint nem lesz képes megakadályozni az ÉNy-Európa erdőtalajainak további elsavanyodását 2040-ig. Becsléseik szerint a talajok 60 %-án a pH értéke akár 4 alá mehet. Nőni fog feltehetően a NO_x-ok kibocsátása, mely tovább erősítheti az elsavanyodást. A talajvédelem hagyományos fogalma kitágul. A talaj szűrő funkciója aktív védelemre szorul a káros elemek felhalmozódása miatt. A fejlett országokban már szigorú előírások és szabványok szabályozzák nemcsak a növényvédőszer, hanem a szennyvizek, szennyvíziszapok, hígtrágyák, szerves trágyák és a műtrágya felhasználását is. Hazánkban szintén elkészültek a szennyvizek és iszapok ártalommentes elhelyezését szabályozó irányelvek (FM 1990). A szennyvizekben megengedhető káros elem határértékeit a 9.19, míg a szennyvíziszapok határértékeit a 9.20 táblázat foglalja össze.

9.19 táblázat: A szennyvízben megengedhető káros és mérgező elemek határértékei szántóföldi szennyvízhasznosítás esetén (FM 1990)

Elem, jele	mg/liter	Elem, jele	mg/liter
Alumínium, Al	5.0	Króm, Cr(VI)	0.5
Arzén, As	0.2	Króm, Cr(III)	2.5
Bárium, Ba	4.0	Lítium, Li	2.5
Berillium, Be	0.1	Mangán, Mn	5.0
Bór, B	0.7	Molibdén, Mo	0.01
Cink, Zn	5.0	Nikkel, Ni	1.0
Ezüst, Ag	0.1	Ólom, Pb	1.0
Fluorid, F ⁻	1.0	Réz, Cu	2.0
Higany, Hg	0.01	Szelén, Se	0.02
Kadmium, Cd	0.02	Szulfid, S ⁻	5.0
Kobalt, Co	0.05	Vanádium, V	0.1
Vas, Fe	20.0	pH	6.5-8.5

9.20 táblázat: A szennyvíziszapban megengedhető káros és mérgező elemek határértékei mezőgazdasági elhelyezés és hasznosítás esetén (FM 1990)

Elem, jele	ppm	kg/ha/év	Elem, jele	ppm	kg/ha/év
Higany, Hg	10	0.15	Ólom, Pb	1000	10
Kadmium, Cd	15	0.15	Króm, Cr	1000	15
Molibdén, Mo	20	?	Réz, Cu	1000	10
Arzén, As	100	0.3	Mangán, Mn	2000	30
Szelén, Se	100	1	Cink, Zn	3000	30
Kobalt, Co	100	?	Króm+réz+		
Nikkel, Ni	200	2	+nikkel+cink	4000	?

Megjegyzés: ppm a szárazanyagban, kg/ha/év maximális adag

Különös védelemre szorulnak e tekintetben azok a talajok, melyek a környezeti terheléssel (stresszel) szemben kevésbé ellenállóak. Ide sorolhatók a már savanyú vagy gyorsan elsavanyodó homokok és laza szerkezetű erdőtalajaink. A műtrágyák és a csapadék együttes savterhelése hatására az ország talajainak mintegy 1/3-án nemkívánatos a savanyúság mértéke. Ezeken a területeken (pl. Nyírség, Somogy, Zala) megnőhet a mikroelemek, ill. a toxikus nehézfémek többségének felvehetősége. Környezetvédelmi szempontból is szükségessé válhat a meszezés, e beavatkozásnak helyt kell kapnia a talajvédelem rendszerében.

A hagyományos tápanyagokkal, műtrágyákkal okozott nitrát, foszfát, szulfát, klorid stb. szennyezés elvileg bármely talajon előfordulhat. A mélyrétegű, kolloidgazdag, kötöttebb és humuszosabb talajok azonban a sók többségét jobban képesek elnyelni, megszűrni, visszatartani vagy semlegesíteni, mint a kolloidszegény savanyú homokok. Különösen igaz mindez a szennyező elemekre. Éppen ezért a talajainkban megengedhető összes károselem-tartalmat hazánkban az adszorpciós kapacitásuk függvényében állapítottuk meg. A főbb szennyezőkre vonatkozó határértékeket a 9.21 táblázat foglalja össze.

9.21 táblázat: A szennyező elemek megengedhető maximális mennyisége talajokban, ppm (FM 1990)

Elemek jele	Adszorpciós kapacitás mg-e/100 g talajban			Megjegyzés
	5-15	10-25	25-35	
As	7	10	15	
B	100	100	100	
Be	10	10	10	++
Cd	1	2	3	++o
Co	50	50	50	
Cr	75	100	100	xxo
Cu	74	100	100	xxo
F	500	500	500	
Hg	1	1	1	++o
Mo	10	10	10	
Ni	50	50	50	xxo
Pb	100	100	100	xxo
Se	10	10	10	
Zn	200	250	300	xxo

Megjegyzés:

++ különös elővigyázat szükséges

xx komlóban és szőlőben, valamint 5 % CaCO₃ feletti talajban 25 %-kal növelhető

o gyepen és 6.5 pH alatt felére csökkentendő

A talajok mikroelem készlete képződésüktől, geológiájuktól függően is eltérő. Amint az irodalmi adatokból kitűnik, nagyságrendi vagy több nagyság-

rendet meghaladó különbségek is fennállhatnak ezen elemek tartalmát tekintve az egyes talajok között a genetikai vagy emberi beavatkozás következtében. Elsősorban az ipari körzetek és a tartós szennyvíziszap kezelés alatti területek váltak szennyezetté. A talajok összes mikroelem tartalmának más-más szerzők szerint különböző módon becsült értékeit a 9.22 táblázatban mutatjuk be áttekintés céljából.

9.22 táblázat: Talajok összes mikroelem tartalma különböző szerzők szerint (mg/kg)

Elem jele	Kloke, 1980			Bowen 1979	Shacklette és Boerngen, 1984
	Általában	Megengedett	Szennyezett		
Ag	-	-	-	0.01-8	-
As	2-20	20	8000	0.1-40	0.1-97
B	5-30	25	1000	2-270	20-300
Ba	-	-	-	100-3000	10-5000
Be	1-5	10	2300	0.01-40	1-15
Bi	-	-	-	0.1-13	-
Cd	0.1-1	3	200	0.01-2	-
Co	1-10	50	800	0.05-65	3-70
Cr	2-50	100	20000	5-1500	1-2000
Cu	1-20	100	22000	2-250	1-700
F	50-200	200	8000	20-700	10-3700
Hg	0.1-1	2	500	0.01-0.5	0.01-4.6
Mn	-	-	-	20-10000	2-7000
Mo	1-5	5	200	0.1-40	3-15
Ni	2-50	50	10000	2-750	5-700
Pb	0.1-20	100	4000	2-300	10-700
Sb	0.1-5	5	-	0.2-10	1-8.8
Se	0.1-5	10	1200	0.01-12	0.1-4.3
Sn	1-20	50	800	1-200	0.1-10
Sr	-	-	-	4-2000	5-3000
Ti	100-5000	5000	20000	150-25000	70-20000
V	10-100	50	1000	3-500	7-500
Zn	3-50	300	20000	1-900	5-2900
Br	1-10	10	100	-	-
Ga	0.5-10	10	300	-	-
Tl	0.1-0.5	1	40	0.1-0.8	-
U	0.1-1	5	115	-	-
Zr	10-300	300	6000	-	-
W	-	-	-	0.5-83	-

Hasonlóképpen szabványok születtek a fontosabb élelmiszerek és takarmányok maximálisan megengedhető károselem-tartalmára vonatkozólag. Ezek a határértékek a nemzetközi irodalomban közöltek, FAO USA, Közös Piac stb. szabványain alapulva hazánkban is bevezetésre kerültek. Meg kell azonban jegyezni, hogy vajmi kevés egzakt kísérlet támasztja alá a javasolt határkoncentrációk "megbízhatóságát". Éppen ezért az elmúlt 1-2 évtized folyamán változtak és feltehetően módosulnak majd a jövőben is az újabb adatok és ismeretek bővülésével. A hazai szabvány előírásait néhány fontosabb termékre és elemre a 9.23 és a 9.24 táblázatban közöljük kivonatosan.

9.23 táblázat: Az élelmiszerek maximálisan megengedhető károselem-tartalma mg/kg anyagban /EüM 8/1985. (X. 21.)/

Élelmiszercsoport, ill. fajta	As	Hg	Pb	Cd	Cu	Zn
Liszt, gabonaőrlemények	0.1	0.02	0.5	0.1	5	30
Száraz hüvelyesek	0.5	0.02	0.5	0.1	x	x
Szárított zöldség	4.0	0.05	2.0	0.3	x	x
Szárított gyümölcs	4.0	0.05	2.0	0.5	x	x
Friss gyümölcs (fagyasztott)	0.5	0.01	0.2	0.03	x	x
Friss zöldség	0.5	0.01	0.3	0.03	x	x
Friss burgonya	0.3	0.03	0.3	0.03	x	x
Friss gomba	0.5	0.05	1.0	0.10	10	20

x = Határérték megállapítása nem szükséges, kivéve a réztartalmú növényvédő- szerekkel kezelt gyümölcsöt és zöldséget, melyek maximális réztartalma 10 mg/kg

9.24. táblázat: Takarmányok maximálisan megengedhető károselem-tartalma mg/kg anyagban. 4/1990. (II.28.) MÉM rendelet

Takarmány	As	Pb	Hg	Cd	F
Növényi eredetű alapanyagok	-	-	-	0.5	-
Állati eredetű alapanyagok	-	-	-	2	500
Alapanyag 8 % P-tartalom felett	10	30	-	0.5	2000
Egyéb takarmány-alapanyag	2	10	0.1	-	150
Keverék kutya, macska részére	-	-	0.4	-	-
Keverék tejelő állatok részére	-	-	-	-	30
Keverék kérődzők részére	-	30	-	-	50
Keverék növendék kérődzők részére	-	20	-	-	-
Keverék sertés részére	-	-	-	-	100
Keverék csibék részére	-	-	-	-	250
Egyéb baromfitáp	-	-	-	-	350
Egyéb takarmánykeverék	2	5	0.1	0.5	150
Takarmánykiegészítők	4	10	0.2	0.5	125
Ásványi takarmány	12	30	-	0.75	-
Zöldlisztek, here- és lucernaliszt, száraz és nedves répaszelet	4	-	-	-	-
Halliszt	10	-	0.5	-	-

Már az eddig elmondottakból is megállapítható, hogy a mezőgazdaság által okozott terhelés térben a legkiterjedtebb (nem pontszerű), a legkevésbé ellenőrizhető, sok tekintetben a legsúlyosabb és a legveszélyesebb. Hatása egyaránt jelentkezik a levegő, a talaj, a víz és az élő szervezetek (mikroszervezetek, növény-állat-ember tápláléklánc) szennyezésében, beleértve mind a vízi, mind a szárazföldi rendszereket. A mezőgazdasági tevékenység káros hatása a bioszféra egészére kiterjed. A felismerés új keletű. A fejlett államokban megindult e jelenség átfogó vizsgálata, a közvélemény nyomására pedig az átfogó törvényi szabályozás előkészítése. Nychas (1990) a trágyázás és a környezet kapcsolatát elemezve pl. legutóbb már beszámol a Közös Piac országaiban folyó, a gazdálkodás gyakorlatát és a trágyák felhasználását érintő jogalkotó munkáról is.

A Közös Piac tagországai egyeztetett agrárpolitika keretében a 80-as évek eleje óta igyekeznek visszaszorítani a műtrágyák használatát, korlátozni az állattartást és a szerves trágya-termelést, kivonni az érzékeny talajokat a művelésből stb. A szerző azonban hangsúlyozza, hogy mindeddig csak ajánlások és irányelvek születtek. A trágyák alkalmazását szabályozó külön törvényi jóváhagyásra még nem került sor. A törvényi szabályozás az alábbi, aggodalomra okot adó problémákat érintheti majd (Nychas 1990):

- A trágyázás által okozott nitráterhelés, ivóvízvédelem.
- Élő vizek eutrofizálódása, tápanyagterhelés és minőségromlás a kimosódás, szél és víz általi erózió, szedimentáció eredményeképpen.
- Talajok szennyezése nehézfémekkel, káros elemekkel, a műtrágyák és a szerves trágyák okozta terhelés, ill. túltrágyázás eredményeképpen, valamint szennyvizekkel és szennyvíziszapokkal.
- Légszennyeződés a műtrágyák okozta nitrogénoxidok és ammónia, valamint a szerves trágyák ammónia, CO₂ stb. terhelése következtében. Mindez jelentős mértékben járul hozzá olyan globális problémákhoz, mint az üvegházhatás, az ózon degradációja az atmoszférában, savas esők és erdőpusztulás.
- Természetes és féltermészetes biotópok, tájak degradációja a nagytáblás gépesített és kemizált gazdálkodás eredményeképpen.

9.9 A svéd mezőgazdaság megítélése környezetvédelmi szempontból

A skandináv államok, különösen a svédek, közismerten élen járnak sérülékeny környezetük védelmében. Svédország is az egységesülő Európa, ill. a Közös Piac felé közeledik, előkészíti szigorú környezetvédelmi szabványait és előírásait, melyek érintik a mezőgazdasági termelést. Úgy gondoljuk, hogy az ottani törekvések, szemléletek bemutatása segíthet a hazai mezőgazdaság és környezetvédelem jövőjének kialakításában. Tekintsük a svéd példát esettanulmánynak és élménybeszámolónak (Kádár 1990).

Skandinávia talajai fiatalok (a jégkor későn ért véget), a gránitpajzs talajai és vizei kevésbé meszesek, tehát az elsavanyodásra és a nehézfém akkumulációra hajlamosabbak. Svédország nem tipikus mezőgazdasági ország, hiszen területének durván fele erdő, egyharmada pedig hegyvidék, mocsár és tó. A művelt terület három millió hektár körüli, alig 1/10-e az összesnek. Az állattenyésztés

északon gyakran legeltetésre támaszkodik. Termesztett főbb növények a kalászosok, melyek a gyepekkel együtt a művelt terület 2/3-át foglalják el. Fontosak még az olajos növények, valamint helyenként a cukorrépa és a burgonya. A mezőgazdaság fő bevételét a tej és a hús jelenti, fő állata a szarvasmarha.

Az ötvenes években, ill. a század első felében a hagyományos gazdálkodás keretében még nem különült el az állattenyésztés és a növénytermesztés a farmokon. Az istállótrágya pótolhatatlanul értékes anyagnak számított és vetésforgók uralkodtak a herefüves gyepváltó gabonagazdálkodási viszonyok között. Ma is meghatározó a családi farm 30-50 ha átlagos méretével, de a gazdálkodás jellege megváltozott. Bizonyos körzetekben az állattenyésztés dominál és itt a szerves-trágya túlermelése okozza a legfőbb környezeti gondot. Másutt elkülönült a növénytermesztés, amely főként árugabonát, néha repcét, valamint Dél-Svédországban cukorrépát jelent. A környezeti problémák itt Bertilsson (1990) és Gustavsson (1990) szerint az alábbiakban jelentkeznek:

1. Ugrásszerűen megnő a növényvel nem fedett és erózióknak kitett talajfelület részaránya.
2. Megjelenik a döntően kalászos növényeket reprezentáló leegyszerűsített vetésforgó, ill. monokultúra annak minden hátrányával.
3. Általánossá válik e talajok tömörödése, szerkezetromlása, szervesanyag csökkenése.
4. A gazdálkodás erőteljesen függ a műtrágyáktól és a növényvédő szerektől, a túltrágyázás és a túlvédekezés lassan zsákutcába torkollik.

Állami ösztönzésre ma már a művelt terület mintegy 10 %-a parlagon marad az agrártúlermelés, főként a gabona és a tej miatt. Viták folynak az alternatív növények termesztéséről energianyerésre (etanol), valamint új olajos és gyógyászati alapanyagot jelentő kultúrák bevonásáról. Míg a hektárra vonatkoztatott műtrágyafelhasználás a 60-as években hazánkhoz hasonlóan gyorsan nőtt és elérte a hazai felhasználás 2/3-át a 70-es évek közepére, azóta csökkenő, főként a P és K. A gabonatermések trendje viszont növekvő 5-6 t/ha országos termésátlagokkal. A mezőgazdasági környezetszennyezés főbb forrásait az alábbiakban látják (Andersson 1990, Gustavsson 1989):

1. A talajoknak, főként pedig az élővizeknek a túlzott nitrogén és foszfor műtrágyázás által indukált szennyezése.
2. Az állattartó telepek ammónia szennyezése, mely a nitrát képződésén keresztül a svéd tavak elsavanyodását és eutrofizációját gyorsítja.
3. A műtrágyák és szennyvíziszapok károselem-terhelése, mely hosszú távon a svéd talajokban főként Cd akkumulációt és ezzel együtt a táplálékláncban a Cd növekvő jelenlétét okozhatja.

Újabban alacsonyabb, 40-50 mg Cd/kg P szennyezettségű foszforitokat használnak műtrágyagyártásra, így a talajok Cd akkumulációja 0.5-1.0 g/ha/év körül maradhat. Kíváncsnak tartanak a műtrágya Cd tartalmát 25 mg/kg P értékre leszállítani, mely közelítően az istállótrágya Cd koncentrációjának felelne meg. Kísérleteznek a Cd-mentes szuperfoszfát előállításával. A szennyvíziszapok mezőgazdasági területen akkor használhatók fel, ha azok Cd tartalma 5 ppm alatt van szárazanyagra vetítve. A gazdák még így sem hajlandók földjeiken a szenny-

víziszapokat felhasználni. A mezőgazdaságot érintő törvényi és jogszabályi korlátozások az alábbiak (Bertilsson 1990):

1. Az állatsűrűséget a trágyatermelés alapján limitálják, mégpedig a szerves trágya P-tartalma függvényében. Az összes felhasznált trágya P-készlete nem haladhatja meg a növények P-igényét, mely évente és hektáronként 20 kg elemi P körül adódik, azaz 40-50 kg/ha P_2O_5 . Mindez 1.6 tejelő tehén vagy 10.5 hízó sertés tartását engedélyezi ha-ra vetítve. A korlátozás ugyan 1995-ben lép életbe, de új farmok alapítása, ill. az állattenyésztés bővítése esetén már 1990 óta alkalmazni kell.
2. A szerves trágyák kijuttatása téli időszakban, december 1. és február 20. között tilos. A vízközei területeken és a déli körzetekben 1995-től csak a gyepek és az őszi vetések alá adható szerves trágya augusztus 1. és november 30. között. A közbülső időben gondoskodni kell a szerves trágyák tárolásáról. Szarvasmarha tartásakor 8, míg sertés és baromfi tartásakor 10 hónapra elegendő tárolókapacitás szükséges 1995-től, a jelenlegi 5 hónap helyett.
3. A kormány 20 %-os hozzájárulást nyújt a tárolókapacitás bővítéséhez, maximum 25 ezer korona összeggel. Az átállás érdekében a mintegy 20 ezer körüli, legalább 25 számosállattal rendelkező gazdaság ingyenes és kötelező szaktanácsadásban részesül. A szerves trágyák egyenletes kiszórását segítő, központi kutatási és fejlesztési programok indultak a kiszolgáló technika (trágyaszórók, injektálók) színvonalának emelésére.
4. A nitrogén és foszfor műtrágyákra kivetett környezetvédelmi adót 1988-ban megduplázták. A "zöldadó" mértéke 0.60 SEK/kg N és 1.20 SEK/kg P_2O_5 , mely a vételárnak mintegy 10 %-át jelentette. Az évtized végére kb. 20 %-os csökkentést kívánnak elérni. Amennyiben a trendek ezt nem valószínűsítik, úgy a zöldadót növelni fogják a felhasználás visszaszorítására.
5. Állandó, növényekkel való fedettséget kívánnak biztosítani a művelt területeken. E célból az áttelelő növényeket szorgalmazzák, mint a gyepek, őszi vetésű gabonák és olajosnövények. Részben a forgót sűrítik ilyen kultúrákkal, esetleg köztesként alkalmazzák. A köztes (catchcrop) növény fő funkciója, hogy felvegye a talaj mobilis tápanyagait, megakadályozva azok kilúgzását és a környezetterhelést csökkentve ezáltal, beleértve erózióellenes hatásait is. A zöldfelületet, a szántók 40 %-os átlagos évi fedettségét 60 %-ra tervezik növelni 1995-re. A terveket a Nemzeti Mezőgazdasági Bizottság konkrétan, körzetekre is kidolgozta.
6. Külön programok indultak a környezetvédelmi beavatkozásokat megalapozó kutatások támogatására. Az ammónia szennyezést 1995-re 25, 2000-re pedig 50 %-kal kívánják csökkenteni. Az első lépést elérhetőnek ítélik a meglevő ismeretek és az ismert technikai megoldások alapján, mint pl. az istállótrágya helyes kezelése, kijuttatását követő azonnali bedolgozása a talajba. A második fázis kiterjedt kutatásokat igényelhet (istállók ventillációja, hígtrágyák zárt rendszerben való mozgatása stb.).

A káros fémek terén különös figyelmet szentelnek két elemnek. A Cd a szárazföldi, a Hg a vízi (tavak, halászat) rendszerekben halmozódik fel vizsgálataik szerint. Mindkét elem fő kibocsátója Svédországban az ipar és a tüzelés, valamint részben a mezőgazdaság által alkalmazott trágyaszerek és növényvédel-

mi anyagok. A Cd mobilitása miatt veszélyezteti a táplálékláncot, felezési ideje hosszú, tartós jelenléte hosszú távú következményeivel számolni kell. Az élelmiszerek Cd terhelését 75 %-ban a kalászosoknak, zöldségféléknek és a burgonyának tulajdonítják.

A svéd talajok nehézfém tartalmáról a 9.25 táblázat tájékoztat. Amint az adatokból látható, a talajok átlagos nehézfém készletének néhány vagy néhány tized %-a felvehető. Kivételt képez a Cd, melynek ammónium-acetát-oldható aránya 41 %, a kicserélhető Cd mennyisége pedig 10-20 %, mely Andersson (1990) szerint közvetlenül felvehető a növény számára. Tapasztalatai szerint a nehézfémek többsége megkötődik a talajban. A Svédországban lefolytatott meszezési és trágyázási szabadföldi tartamkísérletekben, ahol a nehézfémek háttér-szennyeződését vizsgálták a hagyományos NPK műtrágyázási szint, ill. a pH függvényében, azt találták, hogy a meszezéssel erősen csökkent a Mn, Zn, Ni felvétele, mérsékelten a Cd és Cu, míg nem volt egyértelmű változás a Pb, As, Cr esetében.

9.25 táblázat: A svéd talajok nehézfém tartalma Andersson (1990) szerint

Elemek neve,	jele	Átlagos tartalom ppm	Feltalajban kg/ha	Könnyen oldható frakció %-a
Higany	Hg	0.06	0.15	5 alatt
Kadmium	Cd	0.22	0.55	41
Kobalt	Co	4.8	12	0.8 alatt
Nikkel	Ni	8.7	22	3.0
Réz	Cu	14.6	37	1.8
Króm	Cr	15.7	39	0.5
Ólom	Pb	15.9	40	6.5
Cink	Zn	59	149	5.0
Mangán	Mn	405	1012	7.0

Könnyen oldható frakció = 1 M ammónium-acetátban (pH 4.8) oldható

A növényfajok szerint is eltérő volt a meszezés hatása. A Cd felvétele mérséklődött a gabonaszalmában és a gyepekben, tehát a vegetatív részekben, míg ez a szemben általában nem volt bizonyítható. A meszezés tehát nem univerzális és minden esetben hatékony eszköze a szennyezés csökkentésének, marad a szennyezőforrások kontrollja. Magas Cd szintet észleltek bizonyos régiók erdeiben élő vadállatokban, s ezt az elsavanyodó talajokra vezetik vissza. A jávorszarvas és az őz belsőségének fogyasztását az egészségügyi hatóságok nem javasolják, mivel a káros elemeket főként a máj és a vese akkumulálja. A jávorszarvas jelentőségére utal, hogy Svédországban évente mintegy 130 ezer állatot lőnek ki. A savas esők nemcsak a talajok és vizek pH-ját csökkentik, hanem jelentős szennyezés okozói is. A csapadék által okozott károselem terhelést Uppsala környékén a 9.26 táblázat szemlélteti.

9.26 táblázat: A csapadék által okozott károselem terhelés Uppsala környékén g/ha/év (In: Andersson 1990)

Elem	1982	1983	1984	1985	1982-85 átlag
Zn	60	50	115	78	76
Pb	44	36	40	42	41
Mn	26	23	47	27	31
Cu	7.4	6.3	7.3	9.0	7.5
Ni	5.4	2.6	3.4	5.5	4.2
As	3.5	2.7	3.5	2.7	3.1
Cr	1.6	1.5	2.2	2.0	1.8
Cd	0.6	0.5	1.0	0.9	0.8
Csapadék (mm)	650	480	575	590	575

A svéd szakemberek számításai szerint a századfordulótól napjainkig mintegy 100-120 g/ha Cd akkumuláció történt a művelésbe vont talajokban foszfor-műtrágyákkal. A növényi felvételt figyelembe véve mindez 80 g/ha tényleges terhelést, szennyezést eredményezhetett. A becsült 0.5-0.6 kg/ha körüli átlagos feltalaj Cd készletéből tehát 10-20 % műtrágya eredetű lehet. A jelenlegi Cd mérleg arra utal, hogy a talajterhelés 2/3-át a trágyázás, 1/3-át a csapadék, a levegőszennyezés okozza. A mérleg egyenlege pozitív, a bevétel mintegy 3-szorosa a veszteségnek, mely a 9.27 táblázat adatai szerint 1-2 g/ha/év dúsulást okozhat a talajokban.

9.27 táblázat: A svéd mezőgazdaság becsült Cd mérlege 1985-ben (Andersson 1990)

Egyenleg tételei	kg/év	g/ha	%
Bevétel			
műtrágyákkal	2900	1.0	46
istállótrágyával	800	0.3	13
szennyvíziszappal	280	0.1	4
meszezőanyagokkal	50	0.0	1
Trágyaszerrel összesen	4030	1.4	64
csapadékkal	2300	0.8	36
Mindösszesen	6330	2.2	100
Kiadás			
növényi felvétel	1709	0.6	27
kimosódás	317	0.1	5
összesen	2026	0.7	32
Mérleg egyenlege	+4304	+1.5	+314

A tartamkísérletekben végzett mérések és becslések alapján feltehető, hogy a Cd tartalom megduplázódott az ehető növényi részekben. Ez a folyamat mindaddig folytatódni fog, míg a talajok Cd-terhelése nő. A Hg koncentrációja ma is emelkedő annak ellenére, hogy az ipari, háztartási és a mezőgazdasági kibocsátás már jó ideje csökken. A standard élő csukára megállapított maximális Hg koncentráció 1 ppm, ezen érték felett a kifogott halak kereskedelmi forgalomba nem kerülhetnek. A 83 ezer svéd tóból ma már több mint 10 ezer ezen okból fekete-listára került.

A Hg akkumulációjának indikátora szárazföldön a talajok nyers humuszának összetétele. Az északi podzol erdőtalajok szerves anyaga megszűri és tartósan visszatartja a fémet, mert a humusz bomlása és ásványosodása lassan megy végbe. A szennyezett, sűrűn lakott és iparosodott Dél-Svédországban átlagosan ötször annyi Hg található a humuszban, mint északon. Az újabb mohaelemzések, valamint a légköri ülepedések direkt elemzése igazolta a Hg illetén forgalmát, a légköri és a talajszennyeződés szoros kapcsolatát. A halak növekvő Hg tartalma ugyanakkor területileg térképszerűen követi a környező talajok (humusz) Hg koncentrációját.

A talajok tehát már nemcsak elnyelői a higanynak, hanem egyre inkább kibocsátók, szennyezők. Az elsavanyodó talajok humusz-vegyületeinek kilúgzásával nő a környező folyók, tavak és tóiszapok, valamint a halak Hg tartalma akkor is, ha a szennyező ipari üzemek pl. már régen felszámolták. És nőhet még sok évtizeden át a jövőben. A régi terhelés lenyomata tükröződik vissza a talajban és a halakban. A talajok megnövekedett Hg készlete 70 %-ban az emberi tevékenységre vezethető vissza a becslések szerint.

Összefoglalóan megemlíti, hogy ma már a svéd közvélemény is tudatában van annak, hogy az említett jelenségek milyen veszéllyel járnak. A probléma akkumulatív, időben eltolódva és kiszámíthatatlanul jelentkezik. Az újabbkori szakirodalom kémiai időzített bomba (chemical time bomb) jelzővel is illeti a káros elemek megjelenésének eme sajátosságát, viselkedését a táplálékláncban, talajban. Amikor a tragédia felismerhetővé válik és tudatosul, gyakran már nehezen vagy egyáltalán nem kezelhető. A kérdést bonyolítja, hogy bizonyos szennyeződés távoli forrásokból is származhat, az uralkodó szelek meghatározók lehetnek. A háttérszennyeződést pedig egészen távoli források is befolyásolják. A légmozgás jelentőségére, a szennyezés gyors terjedésére példaként szolgálhatott Csernobil esete. És mindez természetesen nemcsak a radioaktív elemekre áll fenn. Amint korábban utaltunk rá, a szennyezők különböző időt tölthetnek a légkörben és egyesek globális szennyeződést okozhatnak.

9.10 Adatok a közlekedés (M-7 autópálya), valamint a település és ipar (Budapest) által okozott környezetterheléshez

A témának ma már szinte könyvtárnyi irodalma van mind itthon, mind külföldön. Nem törekszünk azonban az irodalmi források részletes taglalására, inkább bemutatjuk saját vizsgálataink eredményeit. Annál is inkább, mert az irodalomban fellelhető adatok gyakran más körülményeket reprezentálnak, más módszereket alkalmaztak a szerzők stb. Gyakran a vizsgálatok is más célokat követtek. A közelmúltban pl. Hargitai (1990) számolt be egy hároméves munka eredményeiről, melynek során 97 talajszelvényt tártak fel és vizsgáltak meg a nehézfémterhelés szemszögéből az ország szennyezett körzeteiben. A szerző a talajképződésre ható tényezők összességét igyekszik figyelembe venni a talajok terhelhetőségének megítélésében, és főként a humuszállapot, ill. a humuszminőség alapján határozta meg az ún. környezetvédelmi kapacitásértéket.

Az átfogó országos felmérés kapcsán Regiusné (1990, 1991) analizált nagyszámú takarmánynövényt Zn, Mn, Cu, Mo, Ni, Cd elemekre. A különböző talajokon, ill. termőhelyeken gyűjtött növények elemzése kiegészült az ott élő állatok szőrmintavételével, ill. állati szervek analízisével. A szerző összefüggést talált a talajok, növények és állatok elemellátottsága között. Hasonló módon vizsgálta az erőmű, ill. az autópálya mentén gyűjtött növények, ill. eme szennyező források közelében élő állatok Pb és Zn tartalmát. Az említett kiterjedt kutatásokban a takarmányozási szempontok domináltak.

Saját vizsgálatainkat 1991. október 31 - november 2. között végeztük az M-7 autópálya mentén, valamint a főváros területén. A talajmintavétel a felső 10 cm rétegből történt botfúróval, 15-20 pontminta reprezentált egy-egy átlagmintát. Az uralkodó ÉNy-i szelek hatását figyelembe véve az autópálya DK-i oldalát mintáztuk meg az úttól 1, 5, 10, 30, 100 m távolságban. A talajmintákkal párhuzamosan növénymintákat is vettünk a mintavételi helyekről. Főként a táblák közötti gyepes sávokat és régi dűlők gyepes területeit jelöltük ki e célra, ahol a talaj bolygatatlan és a növénytakaró is egységesen fű volt. A mintavételeket Budapest felé haladva ötször megismételtük 54, 46, 34, 25, 12 km távolságra a fővárostól, így a környezetszennyezés hatását statisztikailag is ellenőrizhettük.

A mintavételekre késő ősszel került sor abból a célból, hogy az előregedő növényzeten a szennyezések kumulatív hatását jobban figyelembe vehessük. Ismeretes, hogy pl. tavasszal a gyakori esőzések és a gyors növekedés periódusaiban a növények kevésbé szennyezettek, ill. a hígulási effektus nehezíti a káros elemakkumuláció bemutatását. Másrészt az utak és települések mellett vett növényminták porszennyezettsége az analitikai eredményeket torzíthatja. A levél, ill. a növényi rész alakjától, szőrözöttségétől stb. függően különösen a Fe, Mn szennyezés jelentős, mert ezen elemek a talajban nagy mennyiségben találhatóak. A mintavételt ebből eredően többnapos esőt követően hajtottuk végre. A növényminták külön mosására nem került sor, véleményünk szerint erre nem volt szükség a fű esetében (9.28 táblázat).

9.28 táblázat: Mosás és az eső hatása az út mellett vett növényminták porszennyezettségére, illetve analitikai eredményeire Sámsoni (1973) nyomán, ppm

Növényfaj típusa	Kezelés	Fe		Mn		Zn		Cu	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Akáclevél	Mosatlan	246	152	57	27	55	59	8	11
	Mosott	169	127	48	24	54	53	8	10
Fehér libatop	Mosatlan	144	70	62	30	26	44	10	7
	Mosott	78	49	46	28	26	42	9	7
Szőrös disznóparéj	Mosatlan	239	149	52	23	35	36	7	5
	Mosott	88	95	52	18	35	33	7	5
Szennyezés mértéke ppm-ben									
Akáclevél		77	25	9	3	1	6	-	1
Fehér libatop		66	21	16	2	-	2	-	-
Szőrös disznóparéj		151	54	5	5	-	3	-	1
Szennyezés mértéke a mosott %-ában									
Akáclevél		46	20	18	13	3	11	2	8
Fehér libatop		85	43	35	5	1	4	3	9
Szőrös disznóparéj		172	57	10	28	1	10	2	14

1 = mintavétel 1969. augusztus 5. (25 napos szárazság után)

2. mintavétel 1969. augusztus 25. (eső után 1 nappal)

Az analíziseket a velencei NTSz végezte. Amint a 9.29 táblázat adatai mutatják, a füvesített útpadka talaja kevésbé kötött, ennek ellenére a felvehető P és Na tartalma kiugróan magas, tehát szennyezés következménye. A Na feltehetően a sózásból, míg a P az utak mosásából eredhet. Mindkét módszer kielégítően képes jelezni a terheléseket. A felvehető K tartalma bizonyíthatóan nem változott az úttól való távolság függvényében.

A Lakanen-Erviö (NH₄-acetát + EDTA) szerinti felvehető mikroelem mennyiségéről a 9.30 táblázat tájékoztat. Összehasonlítás céljából közöljük a "szennyezetlen" kísérleti telepeink művelt talajainak háttérkoncentrációit. Telepeinket 2-2 átlagmintával jellemeztük e vizsgálatokban. Emlékeztetőül a telepek talajai:

Nyírlugos - savanyú homoktalaj (Nyírség)

Órbottyán - meszes homoktalaj (Duna-Tisza köze)

Martonvásár - erdőmaradványos vályog csernozjom (M-7 autópálya kb. 1 km)

Az adatokból látható, hogy átlagosan a Mn fordul elő a legnagyobb mennyiségben és a talaj kötöttségével nő koncentrációja a vizsgált művelt talajokban. Szennyezettséget nem jelez. A Na értékek azonban még az úttól távolabb is egy nagyságrenddel haladják meg a szennyezetlen művelt talajok átlagát. Hasonló a helyzet az Pb, Zn, Cu esetében. A Ni, B, Co elemek mennyisége a kötöttséggel nőtt a művelt talajokban, de érdemben nem változott koncentrációjuk az autó-

pályához közelítve. A vizsgált elemek közül a Na, Pb, Zn és Cd halmozódott fel közvetlenül az útpadka talajában, és az akkumuláció statisztikailag is igazolható volt. A művelt talajok felvehető Pb és Cd tartalma is nőtt a kötöttséggel. A martonvásári kísérlet talajában a magas Pb tartalommal már a közeli M-7 autópálya hatása is érződik, hiszen a pálya 1-2 km távolságban fekszik.

9.29 táblázat: Az M-7 autópálya mentén vett talajok 0-10 cm rétegének kötöttsége és felvehető makroelem tartalma az úttól való távolság függvényében, 1991. (Analízis: Velencei NTSz)

Távolság az úttól, m	Kötöttség K _A	AL-módszer szerint, ppm			Lakanen-Erviö szerint, ppm		
		P ₂ O ₅	K ₂ O	Na	P	K	Na
1	37	649	393	487	246	390	567
5	47	172	373	107	75	410	47
10	50	152	361	85	55	403	37
30	53	137	324	180	54	344	124
100	50	153	387	132	52	379	86
Átlag	47	253	367	198	96	385	172
SzD5%	7	286	114	186	118	131	226
F-próba	xx	xx	nsz	xx	x	nsz	xxx
CV %	11	84	23	70	91	25	98

Megjegyzés: Az ismétléseket a Budapesttől 12, 25, 34, 46 és 54 km távolságban megismételt mintavétel jelentette. nsz = nem szignifikáns

Mint ismert az Pb a benzinből, a Zn és Cu a fékbetétek és súrlódó felületek kopásából, a Cd főként a gumiköpenyek porlásából eredhet. A mintákat a standard módszerként hazánkban elfogadott KCl + EDTA kioldással is megvizsgáltuk. Amint a 9.31 táblázatból látható, a trendek nem változtak. Statisztikailag itt is az Pb, Cd és Zn akkumuláció igazolható az úttól való távolság függvényében, ill. az előző táblázatból levont következtetések megerősíthetők. Vizsgált új elem a S, amely mennyisége nem a közlekedési terheléssel, hanem szintén a talajok kötöttségével látszik pozitív kapcsolatban lenni.

A fűtakaró elemzési adataiból csak a szennyezettséget tükröző Zn, Pb, Cu, Cd koncentrációkat közöljük a 9.32 táblázatban. Mind a négy elem dúsulása jelentős és statisztikailag is igazolható az úttól való távolság függvényében. Az útpadkán való feldúsulás arra is utal, hogy a szennyezők részben közvetlenül az útra kerülhetnek, ahonnan a porral és az esővízzel a padkára jutnak. A légkörbe jutó szennyezők másik része több-kevesebb időt tölt a légkörben és az uralkodó szelekkel távolabbi területekre sodródik. A növény szennyezettsége ma még mérsékeltnak tűnik, az irodalmi határkoncentrációkkal összevetve.

9.30 táblázat: Az M-7 autópálya mentén vett talajok 0-10 cm rétegének felvehető mikroelem tartalma az úttól való távolság függvényében, 1991. (Analízis: Velencei NTSz)

Távolság az úttól, m	Lakanen-Erviö szerint meghatározva, ppm								
	Mn	Na	Pb	Zn	Cu	Ni	B	Co	Cd
1	161	567	411	412	25	2.0	1.2	1.1	0.58
5	225	47	38	14	10	2.1	2.3	1.3	0.19
10	302	37	22	33	13	3.1	2.2	2.0	0.17
30	292	124	24	55	10	3.2	2.0	2.0	0.17
100	292	86	15	14	11	3.4	2.6	1.9	0.16
Átlag	254	172	102	102	14	2.7	2.0	1.7	0.26
SzD5%	136	226	175	289	12	1.8	1.0	1.1	0.11
F-próba	nsz	xxx	xxx	x	nsz	nsz	nsz	nsz	xxx
CV %	40	98	128	213	66	48	36	49	32
Kísérleti telepek művelés alatti szántó talaja (hátterszennyeződés)									
Nyírlugos	64	2	1	2	2	0.3	-	0.3	0.03
Órbottyán	147	2	2	3	2	1.4	0.5	0.7	0.09
Nagyhőrcsök	410	1	4	3	5	3.5	2.0	2.1	0.15
Martonvásár	462	4	7	4	6	5.4	2.0	3.5	0.15

(-): Méréshatár alatt

nsz: nem szignifikáns

A 9.33 táblázatban összefoglaltuk a talajszennyezésre vonatkozó eredményeinket, amelyek a település és az ipari tevékenység (Budapest egyes körzetei), valamint a közlekedés hatását érzékeltetik a viszonylag kevésbé szennyezett és művelésbe vont vidéki talajokhoz viszonyítva. A Lakanen-Erviö módszerrel meghatározott elemek közül legnagyobb mennyiségben a S volt jelen felvehető formában a talajban. A vidéki művelt talajokban átlagosan 35, az M-7 autópálya körzetében 52, Budapesten 79, a legszennyezettebb Nagytétényben és Csepelen 140-160 ppm volt a koncentráció. A S eredetét városi talajokban a fűtésre, barnaszének égetésére vezethetjük vissza, amely a századfordulótól meghatározó volt.

A Zn mint szennyező elem felvehető tartalma vidéki talajokban átlagosan 3, Budapesten 60, az autópálya mentén 102 ppm, tehát 20-30-szorosára dúsult fel. Ezzel analóg képet mutatott, abszolút értékeket tekintve is az ólom. Kiugróan magas szennyezettséget találtunk Budán a Széna téren (Buda legforgalmasabb tere), valamint az ipari területeket reprezentáló Mátyásföldön és Nagytétényben. A Cu az autópálya mentén 3-4, Budapest területén 7-szeresére dúsult fel a fel-talajban.

9.31 táblázat: Az M-7 autópálya mentén vett talajok 0-10 cm rétegének felvehető mikroelem tartalma az úttól való távolság függvényében (Analízis: Velencei NTSz)

Távolság az úttól, m	KCl + EDTA módszerrel meghatározva, ppm							
	Mn	Zn	Pb	S	Cu	Co	B	Cd
1	51	270	126	23	15	0.35	0.23	0.42
5	41	8	20	21	4	0.21	0.32	0.14
10	91	9	14	19	6	0.50	0.25	0.15
30	116	48	14	20	5	0.72	0.25	0.15
100	101	11	9	50	6	0.57	0.34	0.14
Átlag	80	69	37	26	7	0.47	0.28	0.20
SzD5%	99	181	49	33	8	0.60	0.15	0.07
F-próba		x	xxx					xxx
CV %	93	195	99	94	82	96	40	27

Kísérleti telepek szennyezetlen talajai

Nyírlugos	61	1	1	9	1	0.38	0.03	0.12
Örbottyán	100	2	2	16	2	0.32	0.24	0.11
Nagyhőrcsök	108	2	2	21	2	0.37	0.34	0.11
Martonvásár	437	3	9	23	5	3.31	0.78	0.13

Megjegyzés: Az ismétléseket a Budapeستől 12, 25, 34, 46 és 54 km távolságban megismételt mintavételek jelentették

9.32 táblázat: A fűtakaró Cd, Cu, Pb és Zn tartalmának alakulása az M-7 autópálya mentén az úttól való távolság függvényében. Mintavétel: 1991. október 31. (Analízis: Velencei NTSz)

Távolság az úttól, m	Elemtartalom mg/kg szárazanyagba			
	Zn	Pb	Cu	Cd
1	111	77	10.6	0.24
5	31	22	5.2	0.09
10	33	22	5.6	0.12
30	30	16	6.4	0.08
100	30	17	6.0	0.10
Átlag	47	31	6.8	0.13
SzD5%	25	18	1.9	0.05
F-próba	xxx	xxx	xxx	xxx
CV%	39	44	21	28
Szennyezetlen*	30-60	1-10	5-10	0.1-0.2

* Irodalmi források alapján

9.33 táblázat: Környezetszennyező elemek lehetséges akkumulációja a 0-10 cm talajban a település, ipari tevékenység, valamint a közlekedés hatására Magyarországon, 1991. (Analízis: Velencei NTSz)

Mintavétel helye	Lakanen-Erviö szerinti felvehető elemtartalom, ppm								
	S	Zn	Pb	Cu	B	Ni	Co	Cd	Na
Rózsadomb (TAKI)	71	37	30	21	2.0	1.8	0.9	0.4	-
Városmajor	55	33	44	20	2.7	1.7	0.6	0.4	-
Vérmező	65	42	38	66	3.9	1.9	0.7	0.4	1
Széna tér	93	65	101	27	2.8	2.1	0.6	0.6	8
Buda (n=14)									
Átlag	69	43	52	35	2.9	1.9	0.7	0.4	2
CV %	31	34	65	125	30	12	22	21	325
Andrássy út	75	51	79	16	2.4	1.7	0.6	0.5	59
Városliget	49	38	39	20	2.9	1.8	0.6	0.6	-
Népliget	31	69	52	27	1.8	1.6	0.5	0.6	-
Mátyásföld	83	50	108	6	1.0	1.3	0.6	0.4	28
Pest (n=18)									
Átlag	70	61	69	18	2.4	1.6	0.6	0.5	19
CV %	70	68	71	68	75	30	34	56	210
Kőbánya	38	37	19	12	2.8	2.7	1.4	0.5	-
Pestlőrinc	34	22	20	24	0.8	1.0	0.8	0.2	3
Csepel	140	131	55	52	30.	1.6	0.6	0.6	-
Nagyttény	160	96	151	36	3.5	1.8	0.7	0.7	3
Ipari körzet (n=20)									
Átlag	93	72	61	31	2.5	1.8	0.9	0.5	2
CV %	124	92	105	74	56	44	44	53	252
Budapest (n=52)									
Átlag	79	60	61	28	2.6	1.8	0.7	0.5	8
CV %	98	81	84	101	55	33	41	49	323
M-7 autópálya (n=25)									
Átlag	52	102	102	14	2.0	2.7	1.7	0.3	172
CV %	78	213	128	66	36	48	49	32	98
Kísérleti telepek (vidék) szennyezetlen szántó talajai (n=8)									
Átlag	35	3	4	4	1.1	3.7	1.9	0.1	2
CV %	37	49	76	45	94	74	70	42	133

A B szintén a széntüzelésre, a szenek B tartalmára vezethető vissza. A vidéki talajok felvehető B készlete 2-2.5-szeresére emelkedik az autópálya mentén, ill. Budapest területén. A Ni és Co mennyisége nem jelez érdemi különbségeket, sőt a

főváros talajaiban kisebb ezen elemek koncentrációja. Ezzel szemben a Cd mennyisége átlagosan háromszorosára emelkedik a közlekedési terhelés, ill. ötszörösére a főváros körzetében. A Na tartalom egyértelműen a fő közlekedési csomópontokon, és az M-7 autópálya mentén akkumulálódott a sózás eredményeképpen, feltehetően a Cl tartalom is megnőtt a talajban.

Összefoglalóan megállapítható, hogy mind a talajok, mind a növények jelzik az egyes elemek feldúsulását a környezetterhelés nyomán. Aggodalomra ad okot az ólom, cink és a kadmium felvehető mennyiségének ugrásszerű emelkedése. Átfogó vizsgálatokra lenne szükség, hogy a főváros zöldségellátását biztosító városi kertek, valamint a város körüli talajok és kertészeti növények szennyezettségét jobban megismerjük. Nem tudjuk, hogy mennyivel járul hozzá ez a 30-40 km sugarú ellátó övezet az itt élő 2-2.5 millió ember ólom- és kadmium terheléséhez.

9.11 Adatok a műtrágyák által okozott környezetterheléshez

A műtrágyák nem csupán a hatóanyagot tartalmazzák, az illető tápelemet, hanem jelentős mennyiségű vivőanyagot és egyéb szennyező elemet is. Az ismeretebb hazai műtrágyák makroelem összetételét a volt MÉM NAK (1981) összeállítása alapján közöljük kivonatossan a 9.34 táblázatban. Amint a táblázat adataiból látható, a N-műtrágyáknak gyakran csak 20-30 %-a a N, hasonlóképpen a P-műtrágyáknak a P_2O_5 . A K-műtrágyákban ugyanannyi a klór, mint a K stb.

A makroelemeken kívül egy sor káros vagy kifejezetten mérgező elemet találunk műtrágyáinkban. Saját vizsgálataink során megállapítottuk, hogy az ICP technikát alkalmazva 26 elem meghatározására nyílt módunk és a Se kivételével minden vizsgált elem előfordult kimutatható mennyiségben valamely műtrágyában (Kádár 1991). Amint a 9.35 és 9.36 táblázat adatai erről tájékoztatnak, legtisztábbnak a N műtrágyák adódnak, hiszen forrásul a levegő N-je szolgál. A szennyeződés a gyártás során keletkezik, és a technológiát tükrözi.

Az 1982. évi pétisóban 0.24 % Sr volt kimutatható jelentősebb Mg és Ca kíséretében. A Sr szennyeződés a P-tartalmú meszezőanyag felhasználásából adódhat. A nitrogén műtrágyák tehát a N-forrásokon kívül (nitrát, ammónia, karbamid) elsősorban Ca, P és Sr források is lehetnek, legalábbis a hazai pétisók. A műtrágyák esetében cc HNO_3 + cc H_2O_2 feltárást végeztünk az összes elemkészlet jellemzésére. A minták előkészítését az MTA TAKI, míg az ICP analíziseket a Kertészeti Egyetem végezte.

A foszfor műtrágyák %-os mennyiségben tartalmazhatnak a P-on kívül Ca, Mg, S, valamint tized %-os összetételben Al, Fe, K, Na, Si, Sr elemeket. Az itt nem közölt eredményeink szerint kiemelkedett a termofoszfát, amelyben az Al, Fe, Mg, Na %-os koncentrációban fordult elő (Kádár 1991). A toxikus elemek közül meg kell említeni a hazai szuperfoszfátok 1 % körüli Sr tartalmát, amely az alapanyagul szolgáló nyersfoszfátok (gyakran kólafoszfátok) magas Sr tartalmával magyarázható. Nem mutatkozott elhanyagolhatónak az As tartalom. Kérdés, miként szennyeződött arzénal az előállítás során, hiszen a kiindulási anyagokban (nyersfoszfátokban) arzént nem lehetett kimutatni.

9.34 táblázat: Ismertebb hazai műtrágyák makroelem összetétele a MÉM NAK (1981) összeállítása nyomán

Műtrágya kereskedelmi megnevezése	Hatóanyag kémiai formája	Elemtartalom %-ban							
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	Na	Cl
Ammónium szulfát	(NH ₄) ₂ SO ₄	20-22	-	-	-	-	23	-	-
Mészammon salétrom	NH ₄ NO ₃ +CaCO ₃	25-28	-	-	17-20	2	-	-	-
Dolomitammon salétrom	NH ₄ NO ₃ +CaMg(CO ₃) ₂	25-28	-	-	10	3-7	-	-	-
Ammónium nitrát	NH ₄ NO ₃	34	-	-	-	-	-	-	-
Karbamid	CO(NH ₂) ₂	45-46	-	-	-	-	-	-	-
Nitrosol-28	NH ₄ NO ₃ +CO(NH ₂) ₂	28	-	-	-	-	-	-	-
Szuperfoszfát	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O+CaSO ₄	-	18-20	-	25-30	-	13	-	-
Magnéziumos szuperfoszfát	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O+CaSO ₄	-	18-20	-	25-30	2-3	13	-	-
Tripleszuperfoszfát (TSP)	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O	-	46	-	10	-	1	-	-
Hyperfoszfát	Foszforit	-	29	-	48	1	-	-	-
Kálium klorid	KCl+NaCl	-	-	40	-	2	1-2	10	45
Kálium klorid	KCl+NaCl	-	-	50	-	1	1	6	47
Kálium klorid	KCl+NaCl	-	-	60	-	-	-	1	46
Káli-kamex	KCl+NaCl+MgSO ₄	-	-	40	-	4	4	8	40
Kálium szulfát	K ₂ SO ₄	-	-	50	-	1	17	1	2
Monoammónium foszfát (MAP)	NH ₄ H ₂ PO ₄	11	53	-	-	-	-	-	-
Nitrosol-P	NH ₄ H ₂ PO ₄ +NH ₄ NO ₃	16	30	-	-	-	-	-	-
PK keverék	Szuperfoszfát+kálisó	-	10	24	-	-	-	-	-
Bóros PK keverék *	Szuperfoszfát+kálisó	-	10	24	-	-	-	-	-
Plantosan 4-D	Karbamid + PK műtrágya	20	10	15	-	6	-	-	-
Peretrix NPK	NH ₄ NO ₃ +MAP+KCl	4-8	14-26	14-23	-	-	-	-	-
Péti NPK	MAP+Ca(NO ₃) ₂ +KCl	16-22	11-16	11-16	-	-	-	-	-
Szuszpenziós NPK	MAP+KNO ₃ +KCl+egyéb	9-26	13-19	13-27	-	-	-	-	-
Levéltrágyák NPK		0-12	6-20	4-16	-	-	-	-	-

* 2 % B

9.35. táblázat: A műtrágyák mikroelem szennyezettsége, ppm. Mintaelőkészítés: MTA TAKI, ICP analízis: Kertészeti Egyetem (Kádár 1991)

Minta jele	As	B	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ga	Hg
jele	mg/kg								
Pétisó, 1982	-	3	78	-	-	-	-	-	-
Pétisó, 1988	-	1	1	0.9	-	-	2	-	-
Ammonitrát, 1985	-	1	2	-	-	-	-	-	-
Ammonitrát, 1989	-	-	1	0.1	-	-	-	-	-
Karbamid, 1986	-	1	1	-	-	-	-	-	-
Szuperfoszfát, 1983	66	-	272	1.0	2.1	6	15	139	-
Szuperfoszfát, 1988	142	-	206	1.2	2.6	5	23	142	-
Ammonizált szuperfoszfát	1446	3	206	2.7	2.4	21	67	119	-
Savas szuperfoszfát	-	-	228	1.1	2.2	3	18	151	-
Ciklonfoszfát	-	50	40	22.5	1.0	241	57	4	20
Finifoszfát	-	35	39	40.5	0.9	230	10	17	35
Hyperfoszfát	-	20	85	29.8	2.0	323	26	26	49
Kolafoszfát	-	18	419	1.2	3.3	8	12	258	56
Nyersfoszfát	-	-	474	1.2	4.6	10	39	243	67
Foszforit	-	52	965	1.0	3.0	11	5	34	67
Arab Phos. Rock	-	143	338	11.5	0.5	160	22	-	27
NDK Thomasphosph.	-	-	26	101.8	4.4	1583	-	98	316
Libanoni 3-as szuperfoszfát	-	85	73	25.0	1.7	274	46	3	-
Peretrix-6	-	-	246	1.5	1.5	5	15	98	-
Holland 4196	-	1	71	2.5	1.5	78	23	58	45
Holland 4203	-	1	68	2.2	1.3	78	21	58	40
Norvég 4238	-	26	41	25.0	1.9	83	28	16	22
Norvég 4291	-	36	42	25.0	2.7	81	27	19	21
NSzK 4197	-	10	49	3.8	3.2	47	5	12	-
Kálisó, 1974	-	16.2	7	1.2	-	1	33	3	-
Kálisó, 1988	-	-	3	1.3	-	-	1	-	-
Termofoszfát	-	-	303	22.3	16.9	267	17	96	-

9.36.táblázat: A műtrágyák mikroelem szennyezettsége, ppm. Mintaelőkészítés: MTA TAKI, ICP analízis: Kertészeti Egyetem (Kádár 1991)

Minta jele	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Ti	V	Zn	Sr
jele	mg/kg								
Pétisó, 1982	-	2	-	-	-	16	1	-	2400
Pétisó, 1988	-	2	-	-	-	1	1	-	23
Ammonitrát, 1985	-	-	-	-	-	1	-	1	2
Ammonitrát, 1989	-	1	-	-	-	1	-	-	5
Karbamid, 1986	-	2	-	1	-	1	-	5	2
Szuperfoszfát, 1983	0.6	182	-	1	12	332	53	15	12000
Szuperfoszfát, 1988	0.9	201	-	1	14	406	66	24	11400
Ammonizált szuperfoszfát	0.6	137	-	8	62	432	50	54	9600
Savas szuperfoszfát	0.7	197	-	1	7	360	60	9	12800
Ciklonfoszfát	1.9	24	5.7	112	12	31	139	454	1400
Finifoszfát	2.5	21	1.1	14	-	40	58	368	1700
Hyperfoszfát	3.9	65	0.4	33	13	142	133	386	2000
Kolafoszfát	1.2	191	-	1	4	660	64	5	22200
Nyersfoszfát	1.8	219	-	2	24	708	62	21	21100
Foszforit	3.5	1225	-	5	12	84	53	6	2700
Arab Phos. Rock	1.5	20	3.0	31	4	23	243	478	1700
NDK Thomasphosph.	5.0	17648	-	-	14	1802	5836	137	143
Libanoni 3-as szuperf.	1.5	62	4.2	46	-	54	220	567	546
Peretrix-6	0.5	141	-	2	6	221	45	12	8200
Holland 4196	1.8	102	-	10	6	263	82	64	1200
Holland 4203	1.9	96	-	11	4	266	81	50	1200
Norvég 4238	0.7	73	-	14	7	45	41	94	179
Norvég 4291	1.0	71	-	13	6	52	40	92	249
NSzK 4197	1.0	190	2.0	10	8	84	68	38	404
Kálisó 1974	2.3	21	-	1	-	24	2	9	396
Kálisó 1988	0.6	18	-	1	-	3	1	7	24
Termofoszfát	10.5	1348	-	209	-	1060	101	219	4500

A kolafoszfátokat és az észak-afrikai lágy foszfátokat összevetve megállapítható, hogy a kolafoszfátok általában egy nagyságrenddel több Ga, Mn, Sr, illetve egy nagyságrenddel kevesebb Cd, Cr, Ni, Zn nyomelemet tartalmazhatnak, mint az észak-afrikai hyperfoszfát. Mivel az elmúlt évtizedekben jelentős mennyiségben importáltunk kolafoszfátokat szuperfoszfát gyártására, a Sr felhalmozódott talajainkban. Vajon kimutatható-e foszforral (szuperfoszfáttal) feltöltött talajon a felvehető Sr készlet akkumulációja a szántott rétegben?

A Hg 20-67 ppm között ingadozott a nyersfoszfátok többségében, amely a gyártás során feltehetően a levegőbe kerül szennyezőként, mert a szuperfoszfátban már nem mutatható ki. Az NDK-ból származott Thomas-phosphatban viszont kiugróan magas volt a Hg, Cr, Cd, V, Ti, Mn koncentrációja. A K-műtrágyák nyomelemek tekintetében viszonylag tiszták. Elhanyagolható mennyiségben találunk Cu, Cd, Ba, Sr, Zn, Mn elemeket, míg más környezetterhelők ki sem mutathatók (As, Co, Cr, Hg, Pb, Mo).

9.12 Adatok a szántóföldi növények háttérszennyezéséhez és a felvétel dinamikájához

Szabadföldi műtrágyázási tartamkísérletek bázisán kiterjedt vizsgálatokat folytattunk a főbb szántóföldi növényeink háttérszennyezésének megismerése céljából, valamint a káros elemek és nehézfémek növényi felvételét is figyelemmel kísértük. A rozs, triticales és a búza elemzése során megállapítottuk (Lásztity 1986, 1987; Kádár 1991):

1. A vizsgált kevésbé ismert nyomelemek koncentrációja a tenyésztő előrehaladásával csökkent a növényekben. A maximum értékek bokrosodás idején jelentkeztek, ez alól általában a Hg és a Mo volt kivétel.
2. Legkevesbé a Mo hígult, az eredeti tartalom 80-90 %-ára. Ezt követte a Sr (50-60 %), majd a Pb 20 %-ára. A többi elem nagyságrenddel kisebb koncentrációkat találtunk virágzáskor, majd éréskor a szemben és a szalmában. Számos elem tartalma ebben a korban már a méréshatár alá esett.
3. A mikroelemek többsége a szalmában akkumulálódott: Ni, Li, Sr, Ti, Be, Co. A Cr, Cd, Pb tartalom azonos volt a fő- és a melléktermékben, míg a Mo a szemben duplája volt a szalmához viszonyítva csernozjom talajon.

A 9.37 táblázatban áttekintést adunk a szója elemzéséről. A koncentrációk növekvő sorrendjében és a kísérlet átlagában mutatjuk be az elemek előfordulását a tenyésztő folyamán. A vizsgált egyszikűekkel szemben (rozs, triticales, búza), a kétszikű pillangós szója kitűnt magasabb nehézfém tartalmával. Amint az adatokból látható, a Mo, Cr, Ni, Cu, Zn elsősorban a szemben dúsult fel; a V, Li, Cd, Ti, Ba, Sr, Si, Na, Al, Fe a szárban; míg a Co, B, Mn megközelítően egyenletesen oszlott meg a generatív és a vegetatív részek között. Az ICP mérések szórása, a CV %-ok szerint elemenként eltérő volt. Kimutathatósági határ alatt volt az As, Ga, Hg, Pb, Se.

9.37 táblázat: Szója műtrágyázási tartamkísérlet statisztikai értékelése (Meszes csernozjom talaj, Nagyhörcsök, 1988) (Kádár 1991)

Elem		Kísérlet átlagában				CV %			
		VI.27	VII.25	Szem	Szár	VI.27.	VII.25.	Szem	Szár
V	ppm	0.30	0.27	(-)	0.69	27	-	-	43
Li	ppm	0.33	0.26	(-)	0.59	21	13	-	39
Mo	ppm	0.35	0.55	1.9	(-)	6	39	39	-
Cd	ppm	0.51	0.45	(-)	0.24	44	25	-	49
Co	ppm	0.59	0.48	0.6	0.51	63	-	31	23
Cr	ppm	1.2	(-)	3.3	0.9	25	-	-	37
Ni	ppm	1.6	1.5	4.7	1.2	18	27	25	41
Ti	ppm	2.7	1.5	0.2	6.7	35	41	-	35
Cu	ppm	8.2	7.0	14.2	5.1	19	18	34	15
Ba	ppm	11.2	8.3	2.0	13.0	26	31	15	36
Zn	ppm	19	20	31	16	25	19	23	60
B	ppm	41	43	35	31	17	14	9	10
Sr	ppm	65	56	6	59	41	37	27	32
Na	ppm	79	69	83	102	12	5	3	9
Si	ppm	84	80	63	112	10	9	45	9
Mn	ppm	130	83	37	52	19	20	22	34
Al	ppm	337	227	117	480	20	58	31	35
Fe	ppm	467	268	156	682	8	27	35	20
P	%	0.29	0.22	0.52	0.11	30	34	24	53
Mg	%	0.59	0.53	0.23	0.56	32	25	4	17
K	%	1.80	1.43	1.80	0.86	37	34	7	31
Ca	%	2.06	1.75	0.28	1.46	12	10	6	14

Megjegyzés: (-) = Kimutathatósági határ alatt

Összehasonlításképpen bemutatjuk a szintén kétszikű dohány elemeinek megoszlását a felső és alsó levelekben augusztus elején, valamint a levélben és a szárban október közepén. A kísérletet nyírségi savanyú homokon végeztük. A dohány leveleiben jelentős mennyiségű káros elem halmozódott fel, gyakran többszörös koncentrációban, mint a gabonákban vagy a szójában. Az előregedő levelekben nőhet a Cd, Pb, Co, Li, Ba, Zn, Sr mennyisége (9.38. táblázat).

Az említett kísérletben N, P, K műtrágyázást, valamint meszezést (Ca, Mg) is alkalmaztunk. Megállapítható volt, hogy a mikroelemek, köztük az eddig kevésbé vizsgált káros elemek többségének felvétele is jelentősen csökkenthető meszezéssel. Tehát egy ismert és egyszerű eljárással, amely savanyú talajokon gazdaságos beavatkozásnak minősül és a talajtermékenység megőrzését szolgálja. Feltehetően tehát nem annyira a trágyák abszolút elemtartalma lehet fontos a növényi felvétel során, hanem a műtrágyák közvetett hatásai a talajtulajdonosságokon és a felvétel mechanizmusán keresztül. Így pl. a talaj elsavanyodása műtrágyák hatására, a fő tápelemekkel (NPK) való ellátottság, elemek közötti

antagonizmusok és szinergizmusok. A műtrágyázás és a meszezés hatását egzakt tenyészedény modellkísérletben is megvizsgáltuk.

9.38 táblázat: Dohány műtrágyázási tartamkísérlet statisztikai értékelése (Savanyú, homokos barna erdőtalaj, Nyírlugos, 1988) (Kádár 1991)

Elem	Kísérlet átlagában				CV			
	1	2	3	4	1	2	3	4
V ppm	0.3	0.2	-	-	115	93	-	-
Pb ppm	-	-	3.8	-	-	-	30	-
Cd ppm	1.4	2.5	3.7	1.4	26	20	25	19
Co ppm	2.4	2.6	3.1	1.1	42	24	44	35
Ti ppm	3.0	2.8	0.4	0.6	48	11	54	113
Ni ppm	3.8	3.8	3.7	2.8	23	19	44	23
Li ppm	4.7	9.8	19.5	1.5	10	16	25	21
Cr ppm	12.8	9.1	-	3.4	87	7	-	64
Cu ppm	17	11	13	12	28	17	44	18
Ba ppm	22	48	48	23	23	29	12	51
B ppm	26	18	24	11	11	19	33	13
Si ppm	45	48	44	55	6	12	5	5
Zn ppm	65	77	93	42	7	13	37	27
Na ppm	85	102	102	111	4	6	7	11
Sr ppm	101	210	235	79	15	14	27	18
Al ppm	432	436	259	166	18	45	33	37
Fe ppm	705	501	236	220	32	33	19	60
Mn %	0.10	0.17	0.24	0.04	24	19	19	31
P %	0.26	0.15	0.25	0.14	15	10	6	19
Mg %	0.28	0.41	0.20	0.38	12	13	25	11
Ca %	0.97	1.82	2.34	0.51	18	19	7	9
K %	2.79	3.34	2.51	2.32	13	20	13	26

- = Kimutathatósági határ alatt

A vizsgált 27 elemből egyáltalán nem volt kimutatható az alábbi 5 elem: As, Ga, Hg, Mo, Se

Jelölések: 1 = VIII. 1. Felső levél 3 = X. 14. Levél
 2 = VIII. 1. Alsó levél 4 = X. 14. Szár

9.13 A meszezés és a műtrágyázás hatása a környezetszennyező elemek felvételére

Tenyészedény kísérletünket savanyú, 4 pH_(KCl) értékű, 1,5 % humuszt tartalmazó agyagbemosódásos barna erdőtalajjal állítottuk be. A kísérleti talaj N-nel, P-ral és K-mal egyaránt gyengén ellátottnak minősült, míg a Mn, Zn, Cu ellátottsága a talajvizsgálatok szerint kielégítő volt. Jelzőnövényül az Mv-SC 580 fajtájú kukorica szolgált, melyet kb. 6 leveles korig, 30-40 cm magasságig neveltünk. Edényenként 1,8 kg talajban 5-5 növényt hagytunk meg. A kísérletben a N, P és K ellátás 4-4 szintje és minden kezeléskombinációja szerepelt 4x4x4=64 kezeléssel meszezett és meszezetlen alapon, tehát 128 edénnyel. A növénykísérletet megismételtük, a közölt adatok a két növedék átlagára vonatkoznak. A vizsgálatok egyéb eredményeiről, valamint a kísérleti körülményekről korábban már részletesen beszámoltunk (Kádár et al. 1988, Kádár 1991). Az alkalmazott kezeléseket a 9.39 táblázatban foglaljuk össze.

9.39 táblázat: Tenyészedény kísérletben alkalmazott tápelemek mennyiségei és formái. Savanyú kötött barna erdőtalaj, Ragály, mg/kg talajra

Tápelem	Meszezetlen				Meszezett			
	0	1	2	3	0	1	2	3
N	-	240	480	720	-	240	480	720
P ₂ O ₅	-	500	1000	1500	-	500	1000	1500
K ₂ O	-	500	1000	1500	-	500	1000	1500
Ca	-	-	-	-	-	5000	5000	5000

Tápelemformák:

NH ₄ NO ₃	34 %-os N-tartalommal
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	60 %-os P ₂ O ₅ -tartalommal
K ₂ SO ₄	54 %-os K ₂ O-tartalommal
CaCO ₃	40 %-os Ca-tartalommal

A kukorica hajtásának tömege csak a trágyázott edényekben emelkedett meszezés hatására, mérsékelten. A kötöttebb talaj elegendő Ca-ot szolgáltatott a növénynek meszezés nélkül is, az alacsony pH ellenére. A N túlkínálattal szinte minden mikroelem koncentrációja emelkedett a fiatal hajtásban mind a meszezett, mind a meszezetlen talajon. Drasztikusan csökkent azonban a legtöbb elem tartalma mésztrágyázáskor. A leglátványosabban a Te (1/10-ére), valamint a Mn (1/5-ére) koncentrációi mérséklődtek. Elmondható, hogy a Fe és a Sr kivételével gyakorlatilag minden elem felvétele mérséklődött. A meszezett edényekben ritkán volt kimutatható a méréshatár körüli koncentrációban előforduló elemek közül a Cd, Co, Li. A Cr előfordulását ugyanakkor nem befolyásolta, míg a Ti gyakoriságát inkább növelte e beavatkozás (9.40 táblázat).

9.40 táblázat: A meszezés és a N műtrágyázás hatása a 6 leveles kukorica hajtásának elemtartalmára, ppm. Tenyészedény kísérlet. Savanyú kötött barna erdőtalaj, Ragály (Kádár 1991)

Elemek	N0	N1	N2	N3	SzD _{5%}	Átlag
Meszezetlen edények						
Mn	862	1184	1558	1663	153	1317
Fe	177	2244	283	282	22	247
Zn	45	56	70	79	9	62
Sb	24	24	25	27	3	25
Te	10	12	22	28	6	18
Bi	14	14	15	17	2	15
Sr	7.5	7.9	9.4	10.6	1.2	8.8
As	5.6	6.3	6.4	7.4	1.1	6.4
Ni	5.9	5.2	5.4	5.8	1.0	5.4
Hg	1.9	2.5	3.5	4.8	0.9	3.2
Se	1.0	1.2	1.4	1.6	0.3	1.3
Meszezett edények						
Fe	165	228	269	310	16	243
Mn	181	183	199	207	54	192
Zn	32	43	49	55	4	45
Sb	18	20	21	21	3	20
Bi	8	9	10	10	2	9
Sr	6.6	7.6	8.0	8.5	1.0	7.6
As	3.8	4.3	4.3	4.5	0.8	4.2
Ni	1.3	1.8	1.9	1.6	0.7	1.7
Te	1.2	1.3	1.7	2.0	0.5	1.6
Hg	0.6	0.7	0.8	1.0	0.3	0.8
Se	0.5	0.7	0.6	0.8	0.2	0.6
Légszáraz hajtás g/edény						
Meszezetlen	6	22	22	19	2.2	17
Meszezett	6	26	27	26	2.2	21

A méréshatár körüli adatok gyakorisága:

Elem	Meszezett edények	Meszezetlen edények
Cd	2 adat	39 adat
Co	8 adat	35 adat
Li	9 adat	17 adat
Cr	20 adat	21 adat
Ti	47 adat	39 adat

Az egyes elemek növénybeni koncentrációit nem elhanyagolható mértékben befolyásolta a fő tápelemekkel való ellátottság, a tápláltság kiegyensúlyozottsága. A Sr és a Se tartalomban az NxK kölcsönhatások nyilvánultak meg. A Se koncentrációja pl. egy nagyságrenddel csökkenthető volt meszezéssel a nitrogénnel jól ellátott edényekben. A K-ellátás javulása a mésztrágya illetően hatását ugyanakkor részben ellensúlyozta az ismert K-Ca antagonizmus eredményeképpen (9.41. táblázat).

9.41 táblázat: Műtrágyázás és meszezés hatása a 6 leveles kukorica hajtásának elemtartalmára, ppm. Tenyészedény kísérlet. Savanyú kötött barna erdőtalaj, Ragály (Kádár 1991)

Meszezés	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	SzD _{5%}	Átlag
Meszezetlen (Sr)						
K ₀	10.0	10.1	11.2	12.4		10.9
K ₁	7.4	7.9	8.6	11.0	2.4	8.7
K ₂	6.4	7.4	10.1	10.5		8.6
K ₃	6.4	6.2	7.7	8.4		7.2
Átlag	7.5	7.9	9.4	10.6	1.2	8.8
Meszezett (Sr)						
K ₀	7.9	9.1	8.7	7.8		8.4
K ₁	6.2	6.7	8.0	9.5	2.0	7.6
K ₂	5.8	7.5	7.7	8.1		7.3
K ₃	6.4	7.2	7.5	8.7		7.4
Átlag	6.6	7.6	8.0	8.5	1.0	7.6
Meszezetlen (Se)						
K ₀	0.89	0.94	1.38	1.58		1.20
K ₁	0.95	1.15	1.60	1.20	0.68	1.22
K ₂	1.14	1.60	1.69	1.95		1.59
K ₃	1.08	1.05	0.80	1.66		1.15
Átlag	1.01	1.18	1.37	1.59	0.34	1.29
Meszezett (Se)						
K ₀	0.30	0.15	0.17	0.14		0.19
K ₁	0.68	0.76	0.82	0.99	0.42	0.79
K ₂	0.63	0.95	0.81	0.94		0.83
K ₃	0.56	0.79	0.70	0.96		0.75
Átlag	0.54	0.66	0.60	0.76	0.21	0.64

Megjegyzés: Az SzD_{5%} értékek a sorokra és oszlopokra azonosak

A Mn, Zn és Te elemek felvételében az NxPxmeszezés kölcsönhatások domináltak. E jelenség meghatározó fontosságát mutatja, hogy pl. a Mn tartalmakban nagyságrendi különbségek is előfordulhatnak a kezelések eredményeképpen. A Zn tartalomban erősen jelentkezett az ismert P-Zn antagonizmus mind a meszezett, mind a meszezetlen talajon. Szinte hihetetlennek tűnik, hogy az ICP

mérések adatai szerint akár 30-szorosára is változhat a Te tartalma ugyanazon a talajon, egy kísérleten belül, egyazon növényben. Másképpen fogalmazva: a fiatal kukorica Te felvétele akár sokszorosára nőhet az erősen savanyú és nitrogénnel túltrágyázott termesztés körülményei között a meszezetthez és trágyázatlanhoz viszonyítva. Mindez anélkül történhet, hogy Te tartalmú trágyaszereket alkalmaznánk. A kölcsönhatások elemzésének tehát a környezetvédelmi kutatásokban is központi szerepet kell tulajdonítanunk, különösen az élettani határkoncentrációk megállapításában (9.42 táblázat).

A továbbiakban lássunk egy szabadföldi tartamkísérletből példát. A már többször említett mészlepedékes csernozjom talajon, a Nagyhörcsöki Kísérleti Telepünkön beállított tartamkísérlet 17. évében, 1990-ben zöldborsót termesztünk. A kísérlet elvi sémája az előbb ismertetett tenyészedény kísérlettel megegyezően 4N, 4P és 4K ellátottsági szintet, valamint az összes kezeléskombinációt magában foglalta 64 kezeléssel és két ismétléssel, összesen 128 parcellát reprezentálva.

A részletes talajvizsgálatok szerint nemcsak a különböző módszerekkel meghatározott felvehető P-tartalom változott látványosan a szántott rétegben a szuperfoszfáttal történt feltöltés hatására, hanem bizonyíthatóan nőtt a felvehető Sr, valamint csökkent a B és a Co készlete. A kálisóval trágyázott talajon ugyanakkor a felvehető K tartalmán túlmenően, tendenciájában és igazolhatóan nőtt a Ba és a Na koncentrációja (9.43 táblázat).

A száraz évben érdemi trágyahatások nem jelentkeztek, a termés kevéssé változott a kezelések hatására. A N, P, K táplálás ugyanakkor módosította számos elem felvételét. A N-ellátás növelésével nemcsak olyan fontos makroelemek koncentrációjában igazolható az eltérés mint a K, Ca, P, hanem pl. a felére csökkent a Mo és mintegy 1/3-ával nőtt a Sr stb. Hasonlóképpen a P-ellátás, ill. a K-táplálás szintje 4-4 makro és 4-4 mikro mennyiségben előforduló elem tartalmát változtatta meg többé-kevésbé jelentősen, de minden esetben bizonyíthatóan. A kölcsönhatások tehát a szabadföldön is nyomon követhetők (9.44 táblázat).

Amint láttuk a szántott réteg felvehető Sr készlete csaknem megduplázódott (9.43 táblázat) a foszfortrágyázás eredményeképpen. Közel kétszeresére emelkedett ugyanitt a növényi P % is a borsó hajtásában (9.44 táblázat). Az átlagos Sr-tartalom viszont megháromszorozódott. A PxK kölcsönhatásokat is figyelembe véve valójában 4-szeres különbségek alakultak ki. Amint a 9.45 táblázatból látható, a fiatal borsó hajtásában a tenyészidő közepén megfigyelt erős kölcsönhatások idővel mérséklődnek és a Sr átlagos koncentrációja is erősen lecsökken aratás idejére, különösen a generatív szervben, a szemben.

9.42 táblázat: Műtrágyázás és meszezés hatása a 6 leveles kukorica hajtásának elemtartalmára, ppm. Tenyészedény kísérlet. Savanyú kötött barna erdőtalaj, Ragály (Kádár 1991)

Meszezés	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	SzD _{5%}	Átlag
Meszezetlen (Mn)						
P ₀	842	1580	2454	1992		1717
P ₁	880	1118	1312	1624	306	1233
P ₂	928	1074	1324	1642		1242
P ₃	802	962	1140	1394		1074
Átlag	862	1184	1558	1663	153	1317
Meszezett (Mn)						
P ₀	178	179	280	261		224
P ₁	169	165	181	199	108	178
P ₂	188	206	155	176		181
P ₃	190	183	179	192		186
Átlag	181	183	199	207	54	192
Meszezetlen (Zn)						
P ₀	61	88	106	96		88
P ₁	44	44	64	76	18	57
P ₂	40	45	54	77		54
P ₃	36	48	54	67		51
Átlag	45	56	70	79	9	62
Meszezett (Zn)						
P ₀	43	76	79	90		72
P ₁	32	34	47	52	8	41
P ₂	28	34	35	41		35
P ₃	26	29	34	37		61
Átlag	32	43	49	55	4	45
Meszezetlen (Te)						
P ₀	10	18	29	32		22
P ₁	10	12	21	29	12	18
P ₂	8	12	19	32		17
P ₃	10	9	18	18		14
Átlag	10	12	22	28	6	18
Meszezett (Te)						
P ₀	1.0	1.5	3.0	2.7		2.0
P ₁	0.9	1.1	1.4	2.1	1.0	1.4
P ₂	1.6	1.4	1.3	2.0		1.6
P ₃	1.2	1.4	1.4	1.3		1.3
Átlag	1.2	1.3	1.7	2.0	0.5	1.6

Megjegyzés: Az SzD_{5%} értékek a sorokra és oszlopokra azonosak

9.43 táblázat: Műtrágyázás hatása a talaj szántott rétegének felvehető elemtartalmára, ppm. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök 1990.

Elem	0	1	2	3	SzD5%	Átlag
Szuperfoszfát hatására						
AL-P ₂ O ₅	96	129	214	311	28	187
LE-P ₂ O ₅	42	72	129	196	14	110
Olsen-P ₂ O ₅	8	14	22	34	2	19
Sr ppm	23	29	38	43	4	33
B ppm	3.8	2.7	2.2	2.3	1.1	2.8
Co ppm	2.7	2.6	2.3	2.2	0.3	2.4
Kálisó hatására						
LE-K ₂ O155	234	373	537	51	325	
AL-K ₂ O	125	186	332	466	27	277
Ba ppm	20	24	23	24	3	23
Na ppm	16	19	19	20	3	18

Megjegyzés: A Sr, B, Co, Ba, Na Lakanen-Erviö (LE) szerint meghatározva

9.44 táblázat: A N, P, K táplálás hatása a borsó hajtásának elemtartalmára, ppm. Szabadföldi tartamkísérlet. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1990.

Elem	0	1	2	3	SzD5%	Átlag
Nitrogén hatására						
K %	2.48	2.51	2.47	2.30	0.16	2.44
Ca %	1.95	2.16	2.27	2.44	0.12	2.21
P %	0.37	0.36	0.35	0.32	0.03	0.35
Sr ppm	72	85	84	92	7	83
B ppm	14.1	13.8	13.0	12.8	0.7	13.4
Cu ppm	7.7	6.8	7.0	6.2	1.0	6.9
Mo ppm	0.82	0.49	0.44	0.48	0.12	0.55
Foszfor hatására						
K %	2.27	2.48	2.52	2.49	0.16	2.44
Ca %	2.04	2.16	2.28	2.34	0.12	2.21
P %	0.23	0.34	0.38	0.44	0.03	0.35
Mg %	0.31	0.35	0.36	0.38	0.02	0.35
Na ppm	221	296	319	323	46	290
Sr ppm	42	72	97	121	7	83
Zn ppm	19	18	16	14	2	17
B ppm	12	13	14	15	1	13
Kálium hatására						
K %	1.47	2.51	2.91	2.86	0.16	2.44
Ca %	2.77	2.23	1.92	1.90	0.12	2.21
P %	0.36	0.367	0.33	0.33	0.03	0.35
Mg %	0.46	0.33	0.30	0.31	0.02	0.35
Na ppm	606	243	159	151	46	290
Sr ppm	108	84	68	72	7	83
Mn ppm	54	44	45	42	5	17
B ppm	17	13	12	12	1	13

Ellátottság: 0 = gyenge; 1 = kielégítő; 2 = magas; 3 = káros

9.45 táblázat : A zöldborsó Sr-tartalmának alakulása a PxK táplálás függvényében, ppm. Szabadföldi tartamkísérlet. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1990.

P-szintek	K0	K1	K2	K3	SzD _{5%}	Átlag
Hajtás						
P0	53	42	36	37	14	42
P1	96	74	59	61		72
P2	126	102	74	86		97
P3	158	119	102	106		121
Átlag	108	84	68	70	7	83
Hüvelytermés						
P0	31	30	29	30	7	30
P1	44	38	38	40		40
P2	56	50	47	50		51
P3	76	61	61	58		64
Átlag	52	45	44	44	4	46
Magtermés						
P0	3.6	3.4	3.3	3.1	1.2	3.4
P1	5.0	4.4	4.7	5.5		4.9
P2	7.1	5.1	5.9	6.5		6.2
P3	9.4	8.3	7.0	7.9		8.2
Átlag	6.3	5.3	5.2	5.8	0.6	5.6

Megjegyzés: Az SzD_{5%} értékek a sorokra és az oszlopokra azonosak

9.14 Terhelési kísérlettel végzett vizsgálatok első eredményei szabadföldön

Néhány fontosabb környezetszennyező elem hatásmechanizmusának vizsgálatára szabadföldi kispercellás kísérletet állítottunk be 1991. évben az MTA TAKI Nagyhörcsöki Kísérleti Telepén, meszes vályog csernozjom talajon. A kiválasztott 13 elemet 4 terhelési szinten, 52 kezelésben és 2 ismétléssel, azaz összesen 104 parcellán kísérjük nyomon. Az első évben kísérleti növényként kukoricát vetettünk. A tenyésztő folyamán két ízben parcellánként talajmintavételre került sor a szántott rétegben. A növényállományt szintén többször mintáztuk. A kísérlet kezeléseit, valamint az alkalmazott vegyületek formáit a 9.46 táblázat foglalja össze.

A 4-6 leveles kukorica hajtásának légszáraz termését a 9.47 táblázatban ismertetjük. A vizsgált elemek ill. vegyületformák közül ebben a korban erősen fitotoxikusnak mutatkozott az Al, Cr, Mo, Se, Cu, Ni, Zn. A Cr növekvő adagjai a kukorica, valamint a gyomok szinte teljes pusztulásához vezettek. Az Al kezelés negatív hatása idővel mérséklődött ill. megszűnt, feltehetően a káros klór kísérő

ion a mélyebb rétegekbe mosódott. Nem volt érdemi depresszió a fejlődés későbbi fázisaiban a Cu, Ni, Zn elemek hatására sem.

9.46 táblázat: A terhelési kísérlet kezelése. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1991.

Elem jele	Adag kg/ha 1991-ben				A vegyület formája
	1	2	3	4	
Al	0	90	270	810	AlCl ₃
As	30	90	270	810	As ₂ O ₃ -NaAsO ₂
Ba	0	90	270	810	BaCl ₂ ·2H ₂ O
Cd	30	90	270	810	CdSO ₄ ·8/3H ₂ O
Cr	0	90	270	810	K ₂ CrO ₄
Cu	0	90	270	810	CuSO ₄ ·5H ₂ O
Hg	30	90	270	810	HgCl ₂
Mo	0	90	270	810	/MH ₄ /6Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O
Ni	0	90	270	810	NiSO ₄ ·7H ₂ O
Pb	0	90	270	810	Pb(NO ₃) ₂
Se	30	90	270	810	Na ₂ SeO ₃
Sr	0	90	270	810	SrSO ₄
Zn	0	90	270	810	ZnSO ₄ ·7H ₂ O

Megjegyzés: Alaptrágyázás az egész kísérletben 100 kg/ha N, P₂O₅ és K₂O

9.47 táblázat: A 4-6 leveles kukorica hajtásának légszáraz tömege, kg/ha (Terhelési kísérlet. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1991)

Elem jele	Kezelés 1991-ben				Szd5%	Átlag
	1	2	3	4		
Al	145	135	105	55		110
As	140	150	150	135		144
Ba	165	175	205	155		175
Cd	200	185	190	170		186
Cr	155	75	20	15		66
Cu	205	195	145	125		168
					60	
Hg	170	170	190	135		166
Mo	140	130	95	25		98
Ni	200	190	145	110		161
Pb	185	200	165	175		181
Se	145	140	90	75		113
Sr	165	170	195	210		185
Zn	255	210	235	185		221
Szd5%			78			
Átlag	175	163	148	121	18	152

A szántott réteg Lakanen-Erviö módszerrel meghatározott felvehető elem-tartalmáról a 9.48 táblázat adatai tájékoztatnak. A vizsgálatok hibája, pontosabban a mintavételi hiba a kísérlet első évében még igen nagy, hiszen az egyszeri szántás még nem tette lehetővé a trágyák megfelelő keveredését a talajban. A bemutatott trendek ennek ellenére meggyőzőek. Látható, hogy mintegy két nagyságrenddel nőtt meg az As, Cr, Hg felvehető készlete. A Cd, Cu, Mo, Ni, Pb, Se, Zn tartalma átlagosan 10-100-szorosára, a Ba és a Sr koncentrációja 4-5-szörösére emelkedett, míg az Al mérsékelt változást mutatott. A mintegy 3 hónappal később megismételt mintavétel néhány elem átlagos tartalmának csökkenését mutatja: Al, As, Cr, Hg, Mo, Sr. Ezek közül kiemelkedik a Cr és a Hg. A Cr feltehetően nehezebben oldható formákká alakult, míg a Hg a légkörbe távozhatott a talajból, részben a mikrobiális transzformáció eredményeképpen.

9.48 táblázat: Az ammonacetát + EDTA módszerrel meghatározott felvehető elemtartalom alakulása a parcellák szántott rétegében, ppm (Terhelési kísérlet. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1991)

Elem jele	Kezelések				SzD5%	Átlag
	1	2	3	4		
I. mintavétel						
Al	67	73	86	90	17	79
As*	2	7	18	66	81	23
Ba	20	29	41	100	15	47
Cd*	14	60	172	456	224	176
Cr	0	2	6	30	30	10
Cu	7	24	49	110	39	48
Hg*	0	4	49	189	75	61
Mo	1	21	26	104	80	38
Ni	3	14	40	74	11	33
Pb	5	29	56	158	181	62
Se*	1	7	22	122	73	38
Sr	31	48	67	146	59	73
Zn	2	14	54	153	99	56
II. mintavétel						
Al	48	52	64	81	20	61
As	2	7	15	32	35	14
Ba	19	28	42	84	52	43
Cd	28	54	192	539	346	204
Cr	0	1	3	9	2	3
Cu	9	29	47	200	204	71
Hg	1	6	9	51	22	17
Mo	0	20	24	63	58	27
Ni	3	14	36	56	28	27
Pb	4	10	69	236	231	80
Se	1	6	34	84	45	31
Sr	30	38	54	84	37	52
Zn	1	22	66	120	64	52

* = A kontroll talajon mért As=0.2-0.4 ppm; Cd=0.1-0.2 ppm; Hg és Se mérés-határ alatt

A 4-6 leveles korú kukorica elemtartalmának alakulását a 9.49 táblázat foglalja össze. Mint látható nemcsak a talajban jelentős az átlagos Al-készlet, hanem a növényben is. Trágyázással az Al koncentrációja megkétszereződött. Az As nem dúsult fel a hajtásban (bár a gyökérben az akkumuláció nem elhanyagolható), úgy tűnik mozgása gátolt a táplálékláncban. Hasonlóan viselkedik a Cu és a Hg. Néhányszoros koncentráció emelkedést mutatott a Ni, Pb, Sr, Zn. Az akkumuláció következő fokozatát a Ba, Cd, Cr, Se jelenti 10-20-szoros mértékben. A Mo kiugróan magas, átlagosan mintegy 200-szoros felhalmozással tűnt ki.

9.49 táblázat: A 4-6 leveles kukorica elemtartalma, ppm (Terhelési kísérlet. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhorcsók, 1991)

Elem jele	Kezelések				SzD5%	Átlag
	1	2	3	4		
Hajtásban						
Al	91.2	114.4	94.9	197.6	42.3	124.5
As	1.3	0.8	1.1	1.3	1.1	1.2
Ba	4.3	7.6	22.0	96.0	16.8	32.5
Cd	0.6	1.3	3.5	12.5	2.2	4.4
Cr	0.2	0.5	2.8	2.8	2.3	1.6
Cu	17.8	20.2	20.8	21.8	8.5	20.1
Hg	2.3	2.0	2.1	3.7	4.7	5.5
Mo	3.4	107.4	284.2	780.9	82.8	294.0
Ni	0.8	1.3	2.1	2.4	0.5	1.6
Pb	1.0	1.0	2.8	5.4	0.6	2.6
Se	5.4	9.0	23.8	59.8	23.6	24.5
Sr	18.8	27.12	29.4	41.6	20.9	29.3
Zn	19.2	51.2	75.7	126.2	38.5	68.0
Gyökérben						
Al	2400	1863	1270	1750	2189	1821
As	2	7	8	23	46	10
Ba	27	21	38	114	22	50
Cd	9	34	168	294	253	126
Cr	4	24	77	158	95	66
Cu	9	13	25	43	45	23
Hg	3	10	12	63	23	22
Mo	4	140	455	990	615	397
Ni	8	12	26	38	27	21
Pb	4	6	8	24	24	11
Se	11	19	18	51	26	25
Sr	30	34	39	77	32	45
Zn	24	36	70	131	26	65

A gyökér elemtartalmának változásait bizonyos fenntartással kell kezelniük, amennyiben a talajszennyezés, mint hibaforrás fennáll. Külön mosási kísérletekkel kell majd tisztáznunk a jövőben a lehetséges szennyezés mértékét és esetleg figyelembe venni a mintaelőkészítés során. Mindenesetre a dúsulás elemenkénti trendjei, nagyságrendileg legalább is a legtöbb elemnél követik a hajtásnál elmondottakat. A gyomok tömegét ebben az időben a kétszikű *Chenopodium* fajok alkották és igen magas Al, Ba, Sr, Zn tartalmat mutattak a kukorica hajtásához viszonyítva. Az elemek feldúsulási sora azonban jó egyezést mutatott a kukoricával (9.50 táblázat).

9.50 táblázat: A 4-6 leveles kukorica gyomnövényeinek (hajtás) elemtartalma, ppm (Terhelési kísérlet. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1991)

Elem jele	Kezelések				SzD _{5%}	Átlag
	1	2	3	4		
Al	180	956	890	639	664	666
As	-	-	-	-	-	-
Ba	12	43	150	422	79	157
Cd	3	2	8	18	6	8
Cr	-	3	*	*	-	-
Cu	8	10	9	12	3	10
Hg	1	1	5	18	9	6
Mo	3	115	376	600	33	274
Ni	1	7	8	12	5	7
Pb	-	2	8	8	7	5
Se	5	8	18	126	53	39
Sr	134	259	396	574	243	341
Zn	20	81	124	176	36	100

* A növényállomány gyakorlatilag kipusztult

Az első éves eredményekből messzemenő következtetéseket természetesen nem vonhatunk le. Inkább a probléma felvetésére helyeztük a hangsúlyt. A bemutatott terhelési kísérlet lehetővé teheti a talaj-növény rendszer elemforgalmának vizsgálatát, a fontosabb és hazánkban nem, vagy szabadföldön még nem, ill. ritkán vizsgált elemek viselkedésének megismerését. A különböző nehézfémekkel, káros elemekkel terhelt növényi anyagot takarmányozási (etetési) kísérletekre kívánjuk felhasználni, hogy a terhelés (trágya)-talaj-növény-állat táplálékláncot elemezhesük. A kísérletben felhasznált Al-kloriddal korábban már végeztek etetési kísérletet az Állatorvosi Egyetem Takarmányozástani Tanszékén brojler csirkékkel, az Al és P kezelések élettani hatásának vizsgálatára, dr. Fekete Sándor és dr. Bokori József irányításával.

9.51 táblázat: A felhasznált (alumínium + foszfor kiegészítéssel készített) takarmány, valamint a brojler csirkék szerveinek ásványi elemtartalma. Etetési kísérlet, ÁTE Takarmányozástani Tanszék. Analízis: MTA TAKI 1991.

Elem/ kezelés	Takarmány	Combsont	Lép	Agyvelő	Here	Máj	Vese	Tüdő	Szív	Izom
A kezelések átlagában sz.a.-ra számolva										
P %	0.44	4.83	1.67	1.47	1.37	1.23	1.17	1.00	0.98	0.77
K %	0.60	0.15	2.07	1.73	1.87	1.12	1.06	1.27	1.42	1.42
Na %	0.01	0.45	0.30	0.56	0.64	0.28	0.66	0.69	0.53	0.24
Ca ppm	2200	104400	198	509	497	155	310	425	206	170
Mg ppm	1400	2290	1046	751	934	870	752	594	853	960
Fe ppm	50	181	418	78	89	434	271	573	166	29
Zn ppm	28	120	96	52	99	123	90	60	105	69
Al ppm	980	11	3	1	2	1	1	1	2	1
Mn ppm	30	4	2	2	3	14	10	1	2	1
Cu ppm	8	2	3	14	5	17	10	2	14	2
Mo ppm	1	-	-	-	-	3	3	-	1	-
Sr ppm	2	50	-	1	1	-	-	-	-	-
Kezelések* Al tartalom a kezelések függvényében, ppm										
Kontroll	9	11.4	4.8	1.7	0.0	0.2	0.1	0.4	0.2	0.4
200	- 227	5.4	0.0	0.6	3.6	1.0	0.6	0.7	0.9	0.1
200	200 303	3.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.6	0.2	6.2	0.6
1000	- 1038	6.6	0.9	0.2	6.3	0.8	0.9	1.4	0.5	0.0
1000	1000 1194	12.2	0.7	0.6	1.0	0.8	1.2	0.6	0.4	1.5
3000	- 3112	24.8	6.6	1.1	2.0	3.4	3.4	3.8	0.9	2.7
SzD ₅ %		19.4	-	-	-	1.2	2.0	2.1	3.3	2.2
Átlag	980	10.6	2.7	0.9	2.2	1.1	1.1	1.2	1.5	0.9

* Az első oszlop az adott Al, a második oszlop az adott P mennyiségét jelöli mg/kg takarmányban.

Az alumínium és foszfor kiegészítéssel készített takarmány, valamint a brojler csirkék szerveinek ásványi elemtartalmát a kezelések átlagában, ill. az Al tartalom változását az Al és P kezelések függvényében a *9.51 táblázatban* közöljük. Természetszerűen a csont a leggazdagabb ásványi elemekben, melyek közül a Ca és a P meghatározó 2:1 körüli arányban. A lép magas K és Mg tartalmával tűnik ki. A mikroelemeket tekintve jelentős Fe tartalmat mutatott a tüdő, máj és a lép; szinte minden szervben jelentős a Zn tartalom is. Az Al-ot és a Sr-ot a csont; a rezet főként a máj, agyvelő, szív és a vese; a mangánt pedig a máj és a vese akkumulálta. Az Al-tartalom nagy szórást mutatott a kezelések függvényében. Többé-kevésbé megbízható változások, ill. növekedés a combcsontban, májban, vesében és a tüdőben regisztrálható.

Más azonban a tápokhoz kevert egyszerű ásványi sók hatása, valamint a növény által felvett és élettanilag beépült elemeké. A korábban említett tápláléklánc vizsgálata szabatos kísérletet feltételez szabadföldön, ismert összetételű talajon termesztett növényekkel, amelyek szennyező elemtartalma a terhelési kísérlet eredménye. Erre épülhet az egzakttá etetési kísérlet. A káros elemeket szolgáltatató sókat, a talajt, a növényt, valamint az állati szerveket lehetőleg ugyanazon laborban kell vizsgálni.

A tenyészedény kísérletek e téren sem helyettesíthetik a szabadföldi kísérletezést. Nemcsak abból eredően, hogy nem képesek elegendő anyagot szolgáltatni az etetési kísérletek számára. Átfogóan az elemek forgalma csak a természetes viszonyok között szabadföldön ismerhető meg. A jelenkori irodalomban pl. szinte általánosan elfogadott, hogy a 10 ppm Cd feletti érték mind a talajban, mind a növényben a mérgezési tartományt jelenti, ill. az ennél nagyobb adag terméscsökkenéshez vezethet. Ezt tükrözik a közölt irodalmi TVG, NVG határértékek is (Kádár 1991).

Ezt nem cáfolták a hazai vizsgálatok sem. Jászberényi (1979) szálkásperjével végzett 3 éves vizsgálataiban megállapítja, hogy 10 ppm Cd adag már terméscsökkenést okoz homokon, csernozjomon azonban csak az 50 ppm adagnál jelentkezett a depresszió. A meszezés bizonyos fokig ellensúlyozhatja a Cd terhelés negatív hatásait. A növényi Cd koncentráció 1-100 ppm között változott a kezelésektől függően. A 10 ppm feletti koncentráció (mely homokon már a kisebb trágyaadagnál jelentkezett) toxikus lehet.

Az említett vizsgálatokat azonban tenyészedényekben végezték. A szabadföldi terhelési kísérletek szinte hiányoznak az irodalomból. Így kialakulhat egy hamis kép is a főbb káros elemek viselkedéséről, toxikusságáról. Pillanatnyi tudásunk szerint legveszélyesebb környezetszennyezők a nitrogén és a foszfor, legalább is összhatásukat tekintve. Az elkövetkező években sok adatot kell gyűjtenünk az újabb, a figyelem középpontjába került elemek viselkedéséről, meg kell állapítani megengedhető koncentráció tartományait a szennyvizekben, talajokban, élőlényekben. Az új ismeretek döntően kísérletekben nyerhetők, a jövő trágyázási, terhelési, etetési kísérleteiben.

Az általunk ismertetett szabadföldi terhelési kísérlet kukorica termésének betakarításkori eredményeit a 9.52. táblázat foglalja össze. Amint látható, még a legnagyobb terhelési szintet jelképező 810 kg/ha, azaz a 270 ppm Cd adag sem vezetett termés csökkenéshez e talajon kukoricában. Mind a szem-, mind az összes termést bizonyíthatóan csökkentette a Cr, Mo, Pb és a Se, tehát a vizsgált 13 sóból 4.

9.52 táblázat: A kukorica termésének alakulása betakarításkor, légszáraz tömeg t/ha (Terhelési kísérlet. Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1991)

Elem jele	Kezelések				SzD5%	Átlag
	1	2	3	4		
Összes föld feletti termés (Szem+szár+csutka)						
Al	13.4	14.0	14.3	14.1		14.0
As	12.6	14.0	13.6	12.2		13.1
Ba	15.2	15.3	15.4	14.6		15.1
Cd	15.2	13.9	14.4	13.3		14.2
Cr	13.9	9.3	3.6	2.7		7.4
Cu	15.4	14.1	13.4	12.9		14.0
Hg	16.2	15.1	15.2	15.0		15.4
Mo	14.0	13.8	11.2	8.3		11.8
Ni	14.7	14.4	15.0	14.1		14.6
Pb	15.4	14.2	13.2	10.6		13.3
Se	11.5	13.0	10.4	8.2		10.8
Sr	15.3	15.3	15.3	15.3		15.0
Zn	15.2	16.1	15.8	15.8		15.7
SzD5%			3.5			2.7
Átlag	14.4	14.0	13.1	12.1	0.8	13.4
Szemtermés						
Al	8.0	8.4	8.5	7.8		8.2
As	7.6	8.6	7.9	6.9		8.2
Ba	8.8	8.8	8.8	8.3		8.7
Cd	9.0	8.4	8.5	7.8		8.4
Cr	8.1	5.2	1.9	1.6		4.2
Cu	9.0	8.0	8.0	7.9		8.2
Hg	9.3	8.9	9.1	8.7	1.5	9.0
Mo	8.5	8.4	7.4	4.7		7.2
Ni	8.9	8.6	8.9	8.1		8.6
Pb	8.9	8.4	7.8	6.4		7.9
Se	6.9	7.6	5.7	4.3		6.1
Sr	8.3	8.9	9.2	9.0		8.8
Zn	9.0	9.8	9.5	9.5		9.4
SzD5%			1.9			1.4
Átlag	8.5	8.3	7.8	7.0	0.5	7.9

Összefoglalva e fejezet legszélesebb értelemben vett tanulságait az alábbi megállapításokat tehetjük:

1. Minden emberi tevékenységet a jövőben a környezetvédelem szemszögéből kell megítélni és annak alárendelni.
2. Mindez nemcsak a termelő tevékenységre érvényes, hanem a szaktudományok kutatási prioritására is.
3. A környezetvédelem nem álprobléma vagy a politika (tudománypolitika) által kitalált újabb jelszó, hanem az emberi tevékenységből adódó szükségszerűség.
4. A társadalmi fejlődés a problémát automatikusan nem szünteti meg. A környezet tudatos védelme permanens feladat. E tevékenység nem öncélú, hanem az embert szolgálja.

9.15 Irodalom

- ADRIANO, C.D. (1986): Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag, New York, Berlin
- ALCAMO, J.M. et al. (1987): Acidification in Europe: a simulation model for evaluating control strategies. *Ambio*. 16:232-245.
- AMBERGER, A. (1983): Stickstoffaustrag in Abhängigkeit von Kulturart und Nutzungsintensität im Ackerbau und Grünland. *Arbeiten der DLG*. 177:83-94. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- ANDERSON, A. (1983): Heavy metal problems in Swedish food production and food. In: *Proceedings from Seminar. Rapport*. 51:235-257. Stockholm.
- ÁNGYÁN, J. - MENYHÉRT, Z. (1988): Integrált alkalmazkodó növénytermesztés. GATE-KSzE. Gödöllő-Szekszárd.
- ARNON, D.L. - SOUT, P.R. (1939): The essentiality of some elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiol*. 14:371-375.
- BALLA, Ané (1989): Okszerű "rablógazdálkodást"! *Búvár*. 7. sz. 39.
- BEDRNA, Z. (1990): Chránme sa pred dusicami v zelenine. Klub Hnutia Strom Zivota ANTE. Bratislava
- BENEDEK, P. - BULKAI, L. (1979): Ivóvízünk minőségi problémái. *Magyar Tudomány*. 2:90-95.
- BERGMANN, W. (1988): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- BERTILSSON, G. (1990): Agriculture, environment and fertilizers. - Swedish development. In: *Proceedings from Seminar. Rapport*. 51:8-17. Stockholm.
- BLASKÓ, L. - JUHÁSZ, Cs. (1991): Drénezett területek trágyázása. In: *Trágyázási kutatások 1968-88*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- BOWEN, H.J.M. (1979): Environmental chemistry of the elements. Academic Press, New York.
- BROWN, L.R. et al. (1988): A világ helyzete 1987-88-ban. Adatok bolygónk jövőjéről. A washingtoni World-watch Institute jelentése. Árkádia, Budapest.

- CARSON, R. (1962): Silent Spring. HOUGHTON Mifflin Co. New York.
- Ceausescu, I. - IONESCU, A. (Szerk. 1980): Mezőgazdasági termelés és környezetvédelem. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- CSABA, L. - KISS, O. - SZINAY, M. - VERMES, L. (1978): Hígrágya hasznosítás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- DEBRECZENI, B. (1988): A hatékony műtrágyázás mai kérdései. Magyar Mezőgazdaság. 43: (49) 8-9.
- DEBRECZENI, B. (1990): Kritikusan, de reálisan a műtrágyázásról. Magyar Tudomány. 1:50-54.
- ELEK, É. (1989): Hiányzik az együttműködés. Búvár. 7. sz. 39.
- ERDŐSI, F. - LEHMANN, A. (1984): A környezetváltás és hatásai. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- FARKAS, E. - LÖKÖS, L. - VERSEGHY, K. (1985): Lichens as indicators of air pollution in the Budapest agglomeration. Acta Bot. Hung. 31:45-68.
- FERGUSON, J.E. (1991): The heavy elements: chemistry, environmental impact and health effect. Pergamon Press. Oxford/New York/ Seoul/Tokyo.
- FÜLEKY, GY. (1989): Szakszerűbb műtrágyázást! Búvár. 7. sz. 38.
- GLASS, A.D.M. (1989): Plant nutrition. An introduction to current concepts. Jones and Bartlett Publishers. Boston/Portola Valley
- GRAHAM, F. (1970): Since Silent Spring. Fawcett World Library. New York.
- GUSTAVSSON, J. (1989): Swedish Agriculture. An overview and some current problems. The extent of soil mapping. Kézirat. MTA TAKI. Budapest.
- GUSTAVSSON, J. (1990): Regulations within environment and fertilizers. Swedish development. In: Proceedings from Seminar. Rapport 51. 8-17. Stockholm.
- GYÓRI, D. (1975): A környezetvédelem talajtani vonatkozásai. Kézirat. BME Továbbképző Intézete. Budapest.
- HAKANSON, L. - NILSSON, A. - ANDERSSON, T. (1988): Mercury in fish in Swedish lakes. Environmental Pollution. 49:145-162.
- HALL, G. (1973): Környezeti ártalmak és a kapitalizmus. Kossuth Könyvkiadó. Budapest.
- HARGITAI, I. (1990): Talajszennyezések és környezeti terhelések vizsgálata Közép- és Észak-Dunántúl iparvidékein, valamint az ÉK felvidék ipari területein. Jelentés a G-10. "Környezetgazdálkodási Kutatások" c. OKKFT program keretében 1988-1990. között végzett munkáról. Kézirat. Budapest.
- HARMATI, I. (1989): Adatok a napraforgó műtrágyázásához. Agrokémia és Talajtan. 39:207-212.
- HAYNES, R.I. (1985): Mineral nitrogen in the plant-soil system. Academic Press. London.
- JANSSON, S.L. (1971): Nutrient cycling in terrestrial ecosystems. Elsevier Applied Science. London-New York.
- JÁSZBERÉNYI, I. (1979): Káliumhatás vizsgálatok tenyészedény kísérletben. Doktori értekezés. Kézirat. DATE Kémiai Tanszék. Debrecen.
- JÓCSIK, L. (1976): Környezetünk védelmében. Hazai feladatok és nemzetközi együttműködés. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó. Budapest.

- JOLÁNKAI, G. (1979): The non-point sources of plant nutrients in the catchment area of Lake Balaton. Data survey, field study and modelling efforts. VITUKI közlemények. 41-48.
- JUHÁSZ, Cs. (1991): Drénhatás vizsgálata a kiskörei víztározó térségében öntés réti talajon. Doktori értekezés. Debrecen.
- KABATA-PENDIAS, A. - PENDIAS, H. (1984): Trace elements in soil and plants. CRC Press. Inc. Boca Raton. Florida.
- KÁDÁR, I. - KISS, E. (1986): Hogyan műtrágyázzuk a cukorrépát? A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. NEVIKI. 197-202. Keszthely.
- KÁDÁR, I. (1988): Kevesebb műtrágyát! Búvár. 7. sz. 12.
- KÁDÁR, I. - PUSZTAI, A. - SÜLYÖK, L. (1988): A meszezés és műtrágyázás együttes hatásának vizsgálata tenyészedény kísérletben. I. Talajvizsgálati és terméseredmények. Agrokémia és Talajtan. 36-37:223-238.
- KÁDÁR, I. (1989): Műtrágyázás az érvek keresztüztüében. Búvár. 8. sz. 36-37.
- KÁDÁR, I. (1989): Túltrágyázzuk-e a napraforgót? Agrokémia és Talajtan. 38:441-447.
- KÁDÁR, I. (1990): Jelentés a Svédországban tett tanulmányútról. Kézirat. MTA TAKI. Budapest.
- KÁDÁR, I. (1991): A talajok és növények nehézfém-tartalmának vizsgálata. Környezet- és természetvédelmi kutatások. Akaprint. Budapest.
- KLOKE, A. (1980): Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kultur-böden. Mitt. VDLUFA. H. 1. 9-11.
- KOVÁCS, M. - TÓTH, L. (1979): A balatoni hínárok biogén-elem felhasználásáról. VITUKI közlemények. 49-74.
- KOVÁCS, M. - OPAUSZKY, I. - NYÁRI, I. - KLINCSEK, P. (1982): A biológiai indikátorok információ tartalmának felhasználása Budapest környezeti viszonyainak értékelésére. MTA Biol. Oszt. Közl. 25:421-426.
- KOVÁCS, M. - NYÁRI, I. (1984): Budapesti közterületek talajainak nehézfém-tartalma. Agrokémia és Talajtan. 33:501-510.
- KOVÁCS, M. - PODANI, J. (1986): Bioindication: a short review on the use of plants as indicators of heavy metals. Acta Biol. Hung. 37:19-29.
- KOVÁCS, M. - KOLTAY, A. - KASZAB, L. - TÓTH, S. - ZSIGMOND, L. (1986): A levegőszennyeződés hatása Ajka város fáira. I. A fák levelének kémiai összetétele. Bot. Közlem. 73:92-101.
- KÖRNYEZETVÉDELMEK ÉS KUTATÁSI FELADATOK (Szerk: Hepp, F. 1979): Magyar Tudomány (2)
- KREUTZER, K. (1983): Stickstoffaustrag in Abhängigkeit von Kulturart und Nutzungsintensität in der Forstwirtschaft. Arbeiten der DLG. 177. 69-82. DLG Verlag. Frankfurt/Main.
- KUNTZE, H. (1983): Zur Stickstoff Dynamic in Landwirtschaftlich Genutzten Böden. Arbeiten der DLG. 177:25-37. DLG Verlag. Frankfurt/Main.
- LAKENEN, E. - ERVIÖ, R. (1971): A comparison of eight extractants for the determination of plant available micro-nutrients in soils. Acta Agr. Fenn. 123:223-232.
- LÁNG, I. (1974): A környezetvédelem nemzetközi és hazai vonatkozásai. Egyetemi jegyzet. Gödöllő

- LÁSZTITY, B. - KÁDÁR, I. (1978): Adatok a feltöltő PK műtrágyázás vizsgálatához barna erdőtalajon. *Agrokémia és Talajtan*. 27:119-129.
- LÁSZTITY, B. (1986): Néhány elem koncentrációjának változása az őszi rozsban és triticaleban a tenyésztő folyamán. *Agrokémia és Talajtan*. 35:85-94.
- LÁSZTITY, B. (1987): Néhány nehézfém koncentrációjának változása a tenyésztő folyamán őszi búzá-ban. *Növénytermelés*. 36:367-372.
- LENDVAY, Z. - AVAS, K. (1983): Tápanyagkilúgzás vizsgálata talajcsövezett területen. *Melioráció - öntözés és tápanyaggazdálkodás*. 2:48-52.
- LUND, L.J. - RYDEN, J.C. - MILLER, R.J. - LOAG, A.E. - BENDIXEN, W.E. (1978): Nitrogen balances for the Santa Maria Valley. In: *Nat. Conf. on Management of Nitrogen in Irrig. Agric.* (Ed. Pratt, P.F.) 395-413. Riverside. California. USA.
- MAJOR, I. (1987): Mindennapi termőföldünk. *Mezőgazdasági Kiadó*. Budapest.
- MÁTÉ, F. (1989): Nem természetidegen anyag. *Búvár*. 7. sz. 36-37.
- MEADOWS, D. - MEADOWS, D. - ZANH, E. - MILLING, P. (1972): *The Limits to Growth*. Universe Book. New York.
- MEHLHORN, H. (1991): Einflussgrößen für Grundwasserbefruchtungen und daraus ableitbare Sanierungsstrategien. In: *Grundwassersanierung und Nitrat*. 109-122. *Wasserwirtschaftliche Fachtage 1991. Sonderausgabe "Förderungsdienst."*
- MEMHÖLCZERNÉ, K.G. (1989): A pazarlás eszkalációja. *Búvár*. 7. sz. 37.
- MÉM NAK, (1981): Összeállítás a forgalomban lévő műtrágyák, levéltrágyák és egyéb anyagok összetételéről. MÉM NAK Kiadványa. Budapest.
- MÉSZÁROS, E. (1985): A légkör összetétele és az elemek biogeokémiai körforgalma. Akadémiai székfoglaló. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- MINYEJEV, V.G. (1988): *Agrokémia és környezetvédelem*. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- NÉMETH, T. - KOVÁCS, G.J. - KÁDÁR, I. (1987-1988): A NO_3 , SO_4 és a sóbemosódás vizsgálata műtrágyázási tartamkísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. 36-37:109-126.
- NYCHAS, A. (1990): Fertilization and the environment. Legislative aspects in the EEC. In: *Fertilization and the Environment*. 1-10. (Szerk: Merckx-Vereecken-Vlassak) Leuven Univ. Press.
- NYIRI, L. - KARUCZKA, A. (1989): A melioratív nedvességszabályozási módok hatása az elvezetett vizek nitrát tartalmára és dinamikájára. *DATE Tud. Közleményei*. 28:453-462.
- PAIS, I. (1991): Criteria of essentiality, beneficiality and toxicity. What is too little and too much? In: *Cycling of nutritive elements in geo- and biosphere*. 59-77. (Ed.: I. Pais). *Proc. IGBP*. Budapest.
- PATÓCS, I. (Szerk.: 1987): Új műtrágyázási irányelvek. MÉM NAK. Budapest.
- PECCEI, A. (1984): Kezünkben a jövő. A Római Klub elnöke a világproblémákról. *Gondolat*. Budapest.
- PERÉNYI, L. (1975): Elmúlt idők higiénája. *Orvosi hetilap*. 116: (50) 2955-2958.
- PETRASOVITS, I. (1988): Az agrobiológia főbb kérdései. Akadémiai Kiadó. Budapest.

- PRATT, P.F. (1984): Nitrogen use and nitrate leaching in irrigated agriculture. Nitrogen in crop production. ASA-CSSA-SSSA Publication. 319-333. Madison, Wisconsin.
- PURVES, D. (1985): Trace element contamination of the environment. Elsevier. Amsterdam/Oxford/New York/Tokyo.
- REGIUSné, M.Á. (1990): A szarvasmarha, juh és ló Zn, Mn, Cu, Mo, Ni, Cd ellátottsága. Állattenyésztés és Takarmányozás. 39. I. Közlemény: A cinkellátottság. 255-270. 2. Közlemény: A mangánellátottság. 457-472. 3. Közlemény: A rézellátás. 547-562. 4. Közlemény: A molibdénellátottság. 563-576.
- REGIUSné, M.Á. (1991): A szarvasmarha, a juh és a ló cink, mangán, réz, molibdén, nikkel és kadmium ellátottsága. 5. Közlemény: A nikkezellátottság. Állattenyésztés és Takarmányozás. 40:151-162.
- RESCH, H.N. - WALTER, B. (1986): Einschränkung der Nitratverluste im Weinbau. In: Bodenschutz mit der Landwirtschaft. Arbeiten der DLG. 185:114-126. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- RÉZHEGYI, P. - HELTAI, Gy. (1986): A nitrogén kimosódásának vizsgálata liziméterekben N^{15} izotóp felhasználásával. Melioráció-öntözés és tápanyaggazdálkodás. 2:53-55.
- ROHMANN, U. (1986): Landwirtschaftsbedingte und landwirtschaftsunabhängige Stoffeinträge, wie einschränken? Grundwasserschutz vor überhöhten Nitratreinträgen aus der Sicht der Wasserwirtschaft. In: Bodenschutz mit der Landwirtschaft. Arbeiten der DLG. 185:92-104. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- SALÁNKI, J. - BALOGH, V.K. - BERTA, E. (1981): Nehézfémek koncentrációja balatoni állatokban. Hidrológiai Közlöny. 61: (12) 525-530.
- SALGÓ, Lné (Szerk: 1986): A 40 éves UNESCO és Magyarország. Kiadja a Magyar Unesco Bizottság. Bpest.
- SÁMSONI, Z. (1973): Növények mintavételével és feldolgozásával kapcsolatos néhány analitikai probléma vizsgálata. Növénytermelés. 22:25-33.
- SÁRKÖZI, P. (1989): Pótolhatatlan termelőeszközünk a talaj. Műtrágyázás más szemszögből. Magyar Tudomány. 1:48-50.
- SEMB, A. (1978): Deposition of trace elements from the atmosphere in Norway. Research report 13/78. SNSF-project. Norway.
- SHACKLETTE, H.T. - BOERNGEN, J.G. (1984): Element concentrations in soils and other surficial materials of the conterminous United States. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 1270. Washington, D.C.
- STAUB, H.A. (1983): Válaszút előtt a mezőgazdaság. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- STEFANOVITS, P. (Szerk: 1977): Talajvédelem, környezetvédelem. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- STEINER, J. - BUNYEVÁC, J. (1981): Ivóvizek nitrát tartalmának alakulása. Hidrológiai Közlöny. 61. (5) 193-200.
- SZABÓ, S.A. (1984): Radioaktivitási viszonyok a talaj-növény relációban. Agrokémia és Talajtan. 33:594-606.

- SZABÓ, S.A. (1985):Radioökológia és környezetvédelem. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- SZUHAY-HAVAS, E. (1978):Nimród és utódai. Interpress Magazin. 4: (8) 31-33.
- THAMM, Fné (1987-88):Növényminták nitráttartalmának meghatározása. Agrokémia és Talajtan. 36-37:323-337.
- THAMM, Fné (1990):Növényminták nitráttartalmának meghatározását befolyásoló tényezők vizsgálata. Agrokémia és Talajtan. 39:191-206.
- THYLL, Sz. (1984):Síkvidéki kötött talajú területek talajcsövezésének új eredményei. In: Komplex melioráció. Georgikon. Napok. 467-471. Keszthely.
- TÓTH, L. (1972):A balatoni hínárok kémiai összetételéről. VITUKI Közleményei. 2:388-405.
- TÓTH, L. (1972):On the chemical composition of submerged aquatic plants in Lake Balaton.VITUKI Közleményei. 3:48-55.
- TÓTH, A. (1984):A drénezés központi hatása. In: Komplex melioráció. Georgikon Napok. 535-544. Keszthely.
- TÖLGYESI, Gy. (1965):A vízi növények ásványi anyagai és tógazdasági jelentőségük.Halászt. 58:114.
- TÖLGYESI, Gy. (1969):A növények mikroelem tartalma és ennek mezőgazdasági vonatkozásai.Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- VÁRKONYI, I. (Szerk: 1982): A levegőszennyeződés. Műszaki Könyvkiadó. Budapest.
- VERGILIUS, P.M. (i.e. 29):Georgica. Falun. In: Az antik Róma. (Szerk.: Salvani, i. és Caporalli, R. 1963).Corvina Kiadó. Budapest.
- VESTER, F. (1972):Das Überlebensprogram. Kindler Verlag GmbH. München.
- WALTER, B. - RESCH, H.N. (1983):Stickstoffaustrag in Abhängigkeit von Kulturart und Nutzungsintensität im Weinbau. Arbeiten der DLG. 177:114-120. DLG-Verlag. Frankfurt/Main.
- WEHRMANN, J. - SCHARPF, H.C. (1983):Stickstoffaustrag in Abhängigkeit von Kulturart und Nutzungsintensität in Intesivkulturen. Arbeiten der DLG. 177:95-113. DLG-Verlag. Frankfurt/Main.

10. AZ ALTERNATÍV (FENNTARTÓ, BIOLÓGIAI) GAZDÁLKODÁS ALAPELVEIRŐL

*"Megengedhetjük-e a fenntartó mezőgazdaságot?
Talán semmi más gazdálkodás nem engedhető
meg a jövőben."*

LARRY D. KING

10.1 Az alternatív, valamint a kemizált gazdálkodással kapcsolatos nézetekről

A közvélemény sok esetben megkérdőjelezi a kémiai anyagok nagymérvű használatát, erősödik a hagyományos eljárásokra támaszkodó "biológiai mezőgazdaság" iránti érdeklődés. Ma már a hazai szakkörök sem térhetnek ki e problémák megválaszolása elől. Tekintsük át azokat az érveket, melyek a leggyakrabban elhangzanak a kemizált modern mezőgazdasági termeléssel szemben (Voisin 1965, Vester 1982, Anonym 1980, Ceausescu és Ionescu 1980, Staub 1983, Sárközi 1986):

1. A talajokat egyoldalúan telítjük könnyen oldható primér tápelemekkel, amikor műtrágyázunk vagy szennyvízzel öntözünk. Így a növényben is túlsúlyba juthatnak az egyszerűbb, "szerkezet nélküli" vegyületek a polimerek rovására, szabad aminosavak a fehérjék rovására, redukáló cukrok a poliszaharidokkal szemben, szervesetlen ásványi formájú tápelemek a szerves vegyületekbe beépült tápelemekkel szemben stb.
2. A fentiekből adódóan hiányos anyagcseréjű és csökkent betegséghellenállóságú növényzet fejlődik. A kártevők feladata viszont elpusztítani a selejtes szervezeteket. Az eredmény: egyre inkább rá vagyunk utalva a kémiai növényvédelemre. Utóbbi beavatkozás kitermeli az egyre ellenállóbb élősködő szervezeteket és kialakul a környezetünket terhelő ördögi kör.
3. A növények említett élettani és kémiai összetételének romlása csökkentheti az eltarthatóságot, egyre több konzerváló anyagot igényelve az élelmiszeriparban. Romolhatnak a termékek olyan minőségi jellemzői, mint az íz, zamat stb. Az iparszerű állattartó telepeken a hormonokkal, vitaminokkal, ásványi sókkal dúsított, de hiányos anyagcseréjű takarmányokkal táplált állatokon nő a meddőség, a spontán vetélés; anyagcserezavarok és lecsökkent beteséghellenállóság figyelhető meg.
4. A humán civilizációs betegségek részben az ipari élelmiszerelőállítás következményei, melyek megmutatkoznak az emésztőszervek funkcionális zavaraiiban (fogazat, gyomor, máj, epe stb.). Az egészségtelen táplálék áttételesen vagy közvetlen módon hozzájárul a szív és érrendszer, az ízületek és a bőr, a légző és ivarszervek kóros működéséhez. A degeneratív egyedek és a megbetegedé-

sek növekvő számát szintén a tápláléklánc említett anomáliáival hozzák többen összefüggésbe.

5. Környezeti hatásait tekintve utalnak a termőföld degradációjára: erózió, defláció, savanyodás, szikesedés, láposodás, sivatagosodás, humuszanyag csökkenése, talajélet elszegényedése, szermaradványok és káros elemek felszaporodása, rezisztens gyomok és kártevők előretörése.

Közgazdasági oldalról nézve nyomasztóvá válik az ipari termékektől, energiától, valamint a nyersanyagpiacoktól való függőség. Az említett jelenségek összetettségük miatt szabatos kísérletekben nem vizsgálhatók, ill. nehezen bizonyíthatók. Kétségtelen azonban, hogy a felhozott érvek cáfolata sem egyszerű dolog. A biológiai, ill. alternatív mezőgazdasággal szemben hangoztatott kifogásokat az alábbiakban lehetne összefoglalni (Szabó 1975, Anonym 1980, Staub 1983, Pratt 1984, Király 1985, Madas 1985, King 1990 stb.):

- A szerves trágyákból, komposztokból több só, nitrát, nehézfém stb. juthat a földekre és a talajvizekbe, mint a műtrágyákból. A műtrágyát egyébként sem helyettesíthetjük szerves trágyákkal, hiszen nem állnak korlátlanul rendelkezésre.
- Műtrágyák és növényvédőszer nélkül a termések lecsökkennének, a termékek ára megnőne és éhínség lépne fel. Számos növényi betegség, ill. állati kártevő ellen nem lehet védekezni biológiai módszerekkel.
- Nem bizonyított, hogy a biológiai módszerekkel termelt élelmiszerek egészségesebbek. Sőt, csak az ásványi trágyázás bevezetésével válhatnak a növények teljes értékűvé. Az ember soha nem élt oly sokáig erejének teljében, mint ma.
- Minden termesztési mód nevezhető biológiaiának a mezőgazdaságban, hiszen az élő szervezetek révén valósul meg. A biológiai és a modern (sokak, főleg amerikai szerzők szerint a "hagyományos" jelzővel illetett) gazdálkodás között oly csekély a különbség, hogy a külön elnevezés nem is indokolt.
- A biológiai gazdálkodás csak a világnézetileg elkötelezett ideológusok és világmegváltók, valamint a megfélemlített fogyasztók képzeletében létezik.

A mezőgazdaság talán őskori maradványnak tűnhet a városlakó kisember szemében. Hiszen sorvadó ágazat évszázadok óta, a fiatalok elmenekülnek. Állami támogatás híján meg lehetne szüntetni a termelést. Az import élelem olcsóbb lenne a fejlett országokban. Nem piaci viszonyok uralkodnak a mezőgazdaságban. Másrésztől agyonracionalizált ipari ágazat, kiszolgáló és nyersanyagellátó iparrá vált. Termékeinek árát államilag alacsonyan tartják a fogyasztók érdekében, és az üzemi erőforrásokat igyekeznek maximálisan kihasználni: növényt, állatot, termőföldet, tájat, a gazdálkodó családját, tehát az ott élő embert. Ennek van alárendelve a gépesítés, a nagy táblák, monokultúrák (Staub 1983, Buchner és Sturm 1985, Harrach 1992).

Az ún. fejlett, modern (gépesített, kemizált) mezőgazdaság ugyanakkor ökológiai katasztrófaterület: tájképi elszegényedés, a szabadon élő állat- és növényfajok pusztulása, vizek elszennyeződése, szermaradványok és káros elemek feldúsulása a táplálékláncban, a talajok eróziója stb. Végül soron az alacsony termékárak által kiváltott racionalizálás, a jövedelemszerzés kényszere hozza létre a mezőgazdaság iparosítását, mely összeütközik a természettel, környezettel.

A kiút keresése már a század 20-as, 30-as éveiben megkezdődött, különböző biodinamikus irányzatok alakultak Ny-Európában.

Az alternatív gazdálkodás különféle irányzatait ma az IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movement) nemzetközi szinten fogja össze. Titkársága az Egyesült Államokban van. A szerves vagy fenntartó gazdálkodást követő irányzatok az élőlényhez hasonló szerveződésnek tekintik a mezőgazdasági üzemet, amelyben az élő formák változatossága (önmagukat egyensúlyban tartják), valamint a zárt örökös anyagforgalom (szerves anyagok, trágyák visszajuttatása) valósítja meg a stabilitást. Megjegyezzük, hogy vannak szélsőséges véleményt képviselők, akik kategórikusan tiltják a kemikáliák használatát, pl. növényi tápanyag felhasználását műtrágyák formájában.

A fenti célok érdekében a tartós humusz növelésére, az aerob bomlás elősegítésére, a vegyes kultúrák és a táj védelmére helyezik a hangsúlyt. Nem szántanak túl mélyen és gyakran, a talaj lazítását főként a növényre és a földigilisztákra bízják. Természetes módon kívánják elérni a talaj beéredettségét, állandó fedettséget biztosítva. A kisebb gerinces állatok (madarak, sünök, menyét-félék stb.), kétlábúak számára élőhelyeket különítenek el. Nem a maximális termés a fő cél minden lehetséges területet felszántva, hanem az erdő, nádas, ligetek, tavak, rét és legelő, kert és gyümölcsös harmonikus arányát létrehozni a tájban.

10.2 Az alternatív gazdálkodás általános megítélése

Az alternatív gazdálkodás tágabb kitekintést igényel és feltételez. Kétségtelen, hogy a békés célú tudomány sem mindenható, a racionális természettudomány összességében nem képes megvédeni a társadalmat az emberi tevékenység káros következményeitől. A bonyolult kölcsönhatásokat általában utólag regisztrálja, amikor a negatív (és sok esetben már jóvátehetetlen) hatások és károk bekövetkeztek. A szűk racionalitáson túl szükség van a mélyebb morális alapelvek elfogadására, amely magában foglalja a környezettel való teljes harmóniát. Beleértve a békés együttélést a társteremtényekkel, emberrel, állattal és a növényvilággal. E nélkül a harmónia nélkül, e magasabbrendű életfelfogás elfogadása nélkül maga az ember sem maradhat fenn.

Jobban kell támaszkodnunk e téren is a történelemre. Meg kellene ismer-nünk, hogyan élt és táplálkozott az elmúlt korok embere, főként a történelem előtti időkben. A frissen fogyasztott (főként növényi) táplálék kétségtelenül nem vezet természetellenes túltáplálásra. Élettanilag és genetikailag több szempontból természetellenesnek tekinthető a gyárilag előállított finomított cukor, édesített italok, tömény finomsütemények stb. A természetes élelmiszerekben általában valamilyen arányban van jelen a víz, szénhidrát, sók, cukrok stb. Az édesség (energia) iránti igényét néhány almával kielégíti a gyermek, hiszen vele harmóniában kapja a sókat, vitaminokat, szénhidrátot, rostot, vizet stb. A kólából annál többet kíván, minél többet fogyaszt belőle.

Az oldható és gyorsan véráramba kerülő finomított és egyoldalú táplálékkal analóg jelenség állhat elő, mint az oldódó tápanyagok talajba juttatásával a túlzott és egyoldalú műtrágyázáskor. Az ilyen módon túltáplált egyed (növény,

állat, ember) betegségekre, civilizációs vagy túltáplálási betegségekre fogékonyá válik, hiszen az évmilliók során kialakult biológiai visszacsatolási mechanizmusban a kártevők és károkozók (az állatvilágban pl. a ragadozók) feladata elpusztítani, kiselejtezni az "abnormálisan" táplált egyedet. Az abnormális táplálás egyaránt jelenthet alul- és túltápláltságot.

A mezőgazdasági termelés közgazdasági megítélését, mint a rentabilitás és hatékonyság, döntően üzemgazdasági szinten értelmezzük. Paradoxon, hogy ez a mérce határozza meg az emberi magatartást - jegyzi meg Staub (1983). Hiszen valójában az üzemén kívüli tényezők a döntők: a nemzetgazdasági, világgazdasági, energetikai, egészségügyi, ökológiai szempontok. A termelékenységi és a növekedési dicshimnusz tehát legalábbis felülvizsgálatra szorul. Nem lehet cél az emberek tömeges kizárása a gazdálkodásból, megfosztani az embert a természettel való napi kapcsolat örömétől.

A végsőig fokozott iparszerű állattartásban a munkaerőt tőkével helyettesítik, a bonyolult automata rendszerek lehetővé teszik pl., hogy akár több tízezer baromfit látszólag egy ember gondozzon. Persze ez csak a látszat, hiszen sokszoros munkaerőt jelent a rendszer kiépítése, karbantartása, szállítás, anyagmozgatás és még sorolhatnánk. A döntően kézi munkaerőn alapuló kisüzemek, amint a volt szocialista országok példái mutatták, a művelésbe vont területek néhány %-án (Szovjetunióban 1.5-2.0; Magyarországon 8-10 %) a mezőgazdaságban előállított érték 25-30 %-át adták.

A műtrágyák iránti igény akkor jelentkezik, amikor a talaj a növény ellátását nem képes biztosítani. Az Alföld gazdag talajain és a korábbi gazdálkodás viszonyai között pl. ilyen igény helyenként évszázadokig nem jelentkezett (Cserháti és Kosutány 1987). A tápelemigény más forrásokkal is pótolható. Amennyiben az anyagforgalom zárt és a talaj kielégítően ellátott, műtrágyákra egyáltalán nincs szükség elvileg sem. Bármilyen nagy termés műtrágyák nélkül is elérhető. Az elmúlt évtizedekben hazánkban uralkodó, nyitott elemforgalomra épülő és pocsékoló gazdálkodás műtrágyák nélkül azonban nem lett volna képes a termések folyamatos növelésére. Abban a rendszerben igaz volt az az állítás, hogy ha a műtrágyázást megszüntetnénk, termésátlagaink a század eleji színvonalra zuhannának rövid időn belül és akár éhínség is léphetne fel Magyarországon.

A műtrágyázást azonban nem szabad fetisizálni, amint azt a hazai agrárpolitika és a növénytermesztő szakemberek egy része tette és teszi ma is. Persze így van ez másutt is: "Mielőtt országunkban visszatérnénk a biológiai gazdálkodáshoz, valakinek el kell döntenie, melyik 50 millió amerikai haljon éhen vagy éhezzen" - nyilatkozta az Egyesült Államok mezőgazdasági minisztere. Ezzel szemben az ugyancsak amerikai Pimentel (1973) számításai szerint a biocidok totális betiltása csak 7 %-kal növelné a termésveszteségeket az USA-ban és mindez a nemkívánatos termésfeleslegeket csökkentené. Az árak mintegy 9 %-kal emelkednének átmenetileg. A mezőgazdasági termelés tehát nem függ alapvetően a biocidektől.

Figyelembe kell vennünk az alternatív gazdálkodás hosszú távú előnyeit és kihatásait, amelyek pénzben nem fejezhetők ki a mai könyvelési rendszerben. Melyik gazdálkodás jelent nagyobb tájrombolást, ipari és szállítási terhelést, olyan környezetszennyező iparágak virágzását, mint a nehézvegyipar, gépipar,

gépjárműipar stb? Hangsúlyoznunk kell az üzemben belüli erőforrásokra való támaszkodást. A mezőgazdasági termelés és feldolgozás melléktermékei ne szemétként és környezetet veszélyeztető hulladékként jelenjenek meg (istállótrágya, szennyvizek, élelmiszeripari hulladékanyagok stb.), hanem az üzem anyagforgalmát fenntartva és gazdagítva a talajtermékenység megőrzését szolgálják.

Az ökológiai gazdálkodás tehát, amennyiben alkalmazkodik a helyi viszonyokhoz, nem igényel jelentősebb infrastruktúrát úthálózat, közlekedés, vegyipar, gépipar stb. formájában. (Ez persze nem jelenti azt, hogy az apróbb hazai falvainkat és az elhanyagolt tanyákat nem szükséges infrastruktúráisan fejleszteni a jövőben). Hasonlóképpen nem von maga után olyan mérvű adminisztratív, jogi, bürokratikus centralizált infrastruktúrát, mely a vegyszeres ipari gazdálkodás előfeltétele. Kétségtelenül más szemléletről, életfelfogásról, magatartásról, fogyasztási szokásokról is szó van. A világéhínség problémáját elemezve többen utalnak arra, hogy az USA pl. alig 1/10-ét fogyasztja el közvetlenül a megtermelt gabonának, míg 9/10-e a hústermelést és a külpiaci szükségletet szolgálja. Tehát nem élettani minimum szükségletet.

A túlzott és egészségtelen húsfogyasztás átlagosan 5-7-szer annyi területet igényel a mezőgazdaságtól. Fejlődési modelljeinket, szokásainkat is felül kell majd vizsgálnunk. Az alternatív, kevésbé kemizált és gépesített gazdálkodás több kézi munkaerőt igényel, csökkentheti a munkanélküliséget és a környezetterhelést egyaránt, stabilabb fenntartó rendszert jelenthet. Ha mélyebben belegondolunk, a közelmúltig uralkodó gazdálkodás valójában nem vett tudomást az objektívnak tűnő, hosszú távú realitásokról. Az alternatív gazdálkodás, a szemléletváltás és a pályamódosítás bizonyos mértékig elkerülhetetlen.

Végző soron minden visszavezethető energiára. A 70-es években, energiaegységben számolva, a fosszilis energia (kőolaj és származékai, földgáz) egy nagyságrenddel olcsóbb volt az élelmiszernél, valamint három nagyságrenddel az emberi energiánál. A készletek végesek, az árak azóta nőttek. Az élelmiszertermelés energiamérlege, mint ismeretes, annál deficitesebb, minél inkább iparosodott a mezőgazdaság. Az energiahozam és az energia ráfordítás hányadosa a természeti népeknél még 10 feletti. A félig iparosodott országokban 1-10 közötti, míg a fejlett országokban 1 alatti, azaz veszteséges. Az intenzív hízalás, tengeri halászat stb. mérhetetlen energiapazarlásra épülő modern termelési módok.

Az intenzív kemizált-gépesített mezőgazdaság és élelmiszertermelés hatékonysága vitatható. A szárítás, szállítás, raktározás, hűtés, feldolgozás, csomagolás, elosztás műveleteit is figyelembe véve az energiadeficit abszurdá válik. A gyakran felhozott példa: a konzerv kukorica néhány vagy néhány tized % energiát képvisel az előállításához felhasznált energiához képest. A hatalmas energiapazarlás eredményeképpen gyakran élettanilag nemkívánatos terméket értékesítünk és fogyasztunk. Az élelmiszergazdaság egészének teljesítménye így már elhomályosul. Valójában munkamegosztásról, a tevékenységek átcsoportosításáról van szó. A kereskedelmet is figyelembe véve a fetisizált teljesítmény alig több, "mint egy trópusi önellátó paraszt teljesítménye" (Rusch 1974, Pimentel és Pimentel 1979, Staub 1983, Cast 1984, Okigbo 1991).

Valójában a kőolaj tette iparivá a mezőgazdaságot. Gépesítés ugyan előtte is létezett (gőzeke, lóvontatta munkagépek, szántás és szállítás állati vonóerővel

stb.), de a modern gazdálkodás az olajra épül. A belsőégésű motorokon, traktorokon és szállító járműveken túl a peszticidek és a műtrágyák, valamint a műanyagok előállításához is olaj kell. Egy-két generáción belül ez az energiaforrás elfogy, vagy megfizethetatlenné válik. Persze a szénkészletek még évszázadokig kitarthatnak, és új, környezetkímélő energiaforrásokra is szert tehet az emberiség. A távolabbi illúziók helyett a már bekövetkezett krízisről beszélhetünk, legalábbis az egyoldalúan kemizált-gépesített "modern" gazdálkodás részleges bukásáról.

Az emberi tevékenység, amint utaltunk rá az előző fejezetben, a korábbi történelmi időkben is földrésznyi területeket változtatott sivatagokká (túllegeltetés Afrikában, az öntözött Mezopotámia elszikesezése, az ókori Róma terméketlenné válása). A tápelemforgalom is lehet egyaránt nyitott vagy zárt ciklusú minden korban, mely utóbbi alapja a stabil fenntartó gazdálkodásnak. (Lásd a hagyományos távol-keleti öntözéses gazdálkodást.) A rablógazdálkodás során az anyagforgalom és talajtermékenység megőrzésére nincsenek tekintettel, olcsó energiát alkalmaznak: rabszolgamunka az ókorban, kemizálás és gépesítés a jelenben. A melléktermék szemétté válik, irtásokon és hegyoldalakon pusztít az erózió. Az újkori technika megsokszorozta a rablógazdálkodást és a korábban ismeretlen vegyszerekkel (mérgekkel és nehézfémekkel, káros elemekkel) és eljárásokkal a tágabb környezetre ma még nem teljesen ismert befolyást gyakorol.

Joggal vethető fel a kérdés: létezhet-e közös mértékegység az állatok, növények, ember, talaj, víz, levegő, tehát az egész élettér terhelésének mérésére? Nyilvánvalóan nem, hiszen más minőségű objektumok és szervezetek számára mást tekintünk veszélyesnek vagy nemkívánatosnak. Bizonyos fokig azonban el kell fogadnunk Kopernikusz állítását: "Minden földi dolog mércéje és célja az ember." Ezt talán nem erkölcsi alapon fogadhatjuk el (főleg nem a társél-lényekkel szemben), hanem biológiai okból, amennyiben az ember a táplálék-láncnak többé-kevésbé a végén elhelyezkedő, biológiailag érzékeny és veszélyeztetett élőlény. Tudatosult cselekedeteivel pedig helyreállíthatja majd a természet-tel megbomlott viszonyát, az élettér egészének harmóniáját. Annál is inkább, mert a szennyezett környezet visszatükröződik bennünk. Fizikálisan is érintke-zünk vele látás, hallás, szaglás, ízlelés útján, belélegezzük, fogyasztjuk.

10.3 A tápláléklánc és a műtrágyázás összefüggéseiről, valamint az ökológiailag kívánatos tápanyagutánpótlásról

Felvethető a kérdés: egészséges-e, amit szívesen fogyasztunk? Az állat és döntően az ember is az ösztöneire hagyatkozik. A növény is szelektál genetikai adaptációja alapján a felvétel során. Ezek az ösztönök és szelektív mechanizmu-sok a természetes, vagyis az ember által át nem alakított bioszférában működnek. Az édesség iránti vágyunkat nyers édes gyümölcsökkel, bogyókkal elégítjük ki, enzimekkel, vitaminokkal, rostokkal együtt. Mesterségesen finomított tiszta cukrok és édesített frissítők fogyasztásánál a vágy megmarad. Mézből, amelyhez általában ritkábban jutott hozzá az ember, szintén csak keveset tud fogyasztani. A méz egyébként sem hasonlítható a finomított cukorhoz, hiszen oly sok (részben

még mind a mai napig nem azonosított) összetevővel rendelkezik, amely messze túlmutat édesítőszer funkcióin.

A nehézfémek és káros elemek jelenlétét, mint a Hg, Pb, Cd stb. sem az állat, sem az ember nem észleli az élelmiszerekben. Az ösztöneink tehát nem alkalmasak a túltrágyázott, hormonokkal kezelt, káros elemekkel terhelt, vegyszerekkel mérgezett, de íztelen és szagtalan élelmiszerek kiszűrésére, melyeket mindezen túlmenően mesterségesen érleltek, kezeltek, ízesítettek, színezték. Nincs tehát természetes minőségellenőrzési védelmi rendszerünk. Szerzett tudásunknak kell társulni természetes érzékszerveinkhez, ösztöneinkhez.

Régóta ismert, hogy táplálással vagy a táplálás megvonásával (embernél és állatnál egyaránt) különböző betegségtüneteket lehet indukálni, majd az étrend változtatásával, ill. visszaállításával megszüntetni. Már a középkor végén Paracelsus is felhívta erre a figyelmet, hangsúlyozva a betegségek és az emberi szervezet ásványi só forgalma közötti összefüggéseket is. Mivel az ok-okozati kapcsolatok túlságosan áttételesek és összetettek, az orvosi gyakorlatban általában tüneti kezelésekre szorítkoznak ma is. A táplálkozástudomány alapösszefüggései azonban bizonyos fokig általánosíthatók, a tápláléklánc összeköti a talajt, növényt, állatot, embert. Ami a növényre érvényes (trágyázás), alapvonalaiban (trágyázás helyett takarmányozás) és módosításokkal (helyváltoztató mozgás stb.) az állati és emberi szervezetre is érvényes lehet.

Az analógia és a tápláléklánc mechanizmusa bázisán a műtrágyázás következményét Staub (1983) vitatható módon így jellemzi: Műtrágyázás a növény gyökérzetét körülvevő tér hirtelen elárasztását jelenti nagy koncentrációjú (NPK) vízdoldható tápanyaggal. A növény (talaj) nem képes mindezt ellensúlyozni, a kényszerozmózis nyomán egyes elemekből túl sokat, másokból túl keveset kap (diszharmónia). Az anyagcsere megzavart, felborul, hasonlóan mint az állattenyésztésben hízlaláskor. Eredmény: elhízás, betegségekre való hajlam megjelenése az állatban és emberben.

Az ökológiaailag kívánatos trágyázás alatt sokan a növényi hulladékok, szerves trágya, kő- és algaliszt felhasználását értik. Ezek az anyagok lassan adják le tápelemeiket, közvetett és sokoldalú tápanyagforrást jelentenek a növénynek. Vízdoldható elemeket kis mértékben tartalmaznak, növelik a talaj humuszanyagait, megvalósítják az elemek harmóniáját és alapvetően a talaj élővilágán keresztül fejtik ki hatásukat. A túl sok trágyalé vagy fahamu, kálium- és magnéziumsók nemkívánatosak. A trágyalét finoman elosztva, tág C/N arányú szalmával javasolják felhasználni, ill. a komposztok készítésénél hasznosítani.

A műtrágyázás, ill. a trágyázás és az állatok életképessége között szoros összefüggésre az újabb kori irodalom számos példát szolgáltat mind itthon, mind külföldön (Voisin 1965, Staub 1983, Györi 1984). Az említett kapcsolatok között igazán a hosszú távú hatások a fontosak. Az ajánlott szaktanácsadási eljárások többsége nem teszi lehetővé a gyakorlatban a túltrágyázás megbízható elkerülését. Akkor sem, ha betartják. A trágyázási gyakorlat törvényileg ma még nem szabályozott és nem is ellenőrizhető. Az elmúlt időszakban, amint láttuk hazánkban is, az egyoldalú és túlادagolt műtrágyák a mezőgazdasági termelés szükségszerű velejárói voltak, a szennyeződés pedig elkerülhetetlennek bizonyult. A veszélyes következményeket csak most, utólag kezdjük felfogni.

Újra utalnunk kell a nitrát-kérdésre és a talajvizek szennyeződésére a biogazdálkodás kapcsán. A technikai, kémiai tisztítás nem pótolja a tiszta vizet. A fő szennyező pedig a koncentrált állattartás és a kemizált gazdálkodás (biocidok, műtrágyák, hígtrágya, szennyvizek, silók szivárgó vizei), mely ellenőrizhetetlenül jelentkezik óriási területeken. A nitrátból mérgező nitritek képződnek baktériumok közreműködésével, mely a vér hemoglobinjának Fe atomját oxidálja, főként a 4 év alatti gyermekeknél okozva cianózist és idegkárosodást. A felnőtt szervezetben keletkező nitrózaminok rákkeltők. A nitrátdús víz megtámadja (HNO₃) a vízvezetéki csöveket és fokozottabban oldja a mérgező nehézfémeket (Pb, Zn, Cd). A biogazdálkodás vízvédelmi funkciót tölthet be, amennyiben megvalósul. Mindez azonban talán nagyobb szakmai műveltséget és hozzáértést feltételez, mint amelyet a hagyományos műtrágyázási szaktanácsadás nyújt.

A műtrágyázott takarmányok negatív állatételtani hatásáról ritkán olvashatunk. Érdemes utalni néhány forrásra, melyek általunk ugyan nem elbírálhatóan, de érzékeltetik az egyoldalú trágyázás ilyen következményét (In: Staub 1983):

1. Ahnelt és Hahn (1973) adatai szerint a hivatalos szaktanácsadás szerint intenzív trágyázott, NPK+nyomelemekkel "kiegyensúlyozottan" táplált, legelőn tartott birkák spermaminősége romlott és az állatok gyakran terméketlennek bizonyultak. A komposzttal szerves trágyázott legelőn tartott állatoknál mindez nem jelentkezett.
2. Gottschewski (1974) 5 éven át házinyulakkal folytatott kísérletsorozatban azt találta, hogy a biotakarmányok etetése nyomán kevesebb a halvaszületés; mind az anyaállatok, mind az embrió egészségesebb a műtrágyázott kontrollhoz viszonyítva.
3. A szerző más forrásokra utalva kiemeli, hogy a generatív szövetekben és szervekben károsodásokat figyeltek meg, mely az utódokon kifejezettebben jelentkezett. Patkányokkal és macskákkal több nemzedéken át folytatott takarmányozási kísérletekben bizonyították, hogy míg az első nemzedék némileg lefogyhat a rossz minőségű tápláláskor, a második és a harmadik nemzedéknél már súlyos deformációk és csontelváltozások állhatnak elő. A negyedik nemzedéknél megkezdődött a kipusztulás.

Megjegyezzük, itt a táplálékot hőkezeléssel denaturálták, nem trágyázással változtatták meg. A szerző szerint azonban a hatás analóg lehet az egyoldalú nagy adagú műtrágyázás esetén. A táplálék degradálódik, értéktelenné válik, mely a növény-állat-ember, végső soron a teljes ökoszisztéma (benne az emberi faj) degenerációjához vezet. "Unokáink erről többet fognak tudni" - véli Staub (1983).

Persze nem minden rossz, amit a modern mezőgazdaság jelent és nem minden jó, amit biológiaiainak, alternatívának vagy ökológusnak nevezünk. Azokat az elemeket kell érvényre juttatni, melyek jobban megfelelnek a társadalom érdekeinek. Fontos, hogy az agrárpolitika hazánkban is azonosuljon a természet- és tájvédelmi célokkal a rövid távú termeléspolitikai célok helyett. Az agrártudomány különösen felelős azért, hogy a technikai haladás ne válhasson emberellenessé.

Francis-Flora és King (1990) a fenntartó mezőgazdaság fogalmát az alábbiakban határozza meg: "A fenntartó mezőgazdaság egy olyan természetszemlélet,

amely az emberi célok és az emberi tevékenység környezetre gyakorolt hosszú távú hatásának megértésén alapul. Az említett filozófia alapelveit, valamint a tudomány legújabb eredményeit szintetizálva létrehozta az integrált, a természeti erőforrásokat megőrző és azokra épülő gazdálkodás rendszereit. Ezek a rendszerek megszüntetik a környezet károsodását és megőrzik a talaj termékenységét. Rövid és hosszú távú gazdasági életképességet nyújtanak a stabil falusi közösségeknek, fenntartva az élet minőségét." Ezt a megfogalmazást elfogadhatónak ítéldhetjük, de talán nem elég konkrét és így nem orientálja kellőképpen a gyakorlatot. A fenntartó mezőgazdaság tehát filozófiai, világszemléleti, gazdálkodási alternatíva, szaktanácsadási modell, megújuló termelési potenciál és természeti erőforrás. Olyan optimalizációs folyamat, amely felhasználja az élő szervezeteket, az atmoszferikus és szerves anyagforgalmat, lehetséges külső forrásokat, melléktermékeket. Nagyobb tudást és kevesebb energiát igényel. Lássuk a hazai helyzetet közelebbről.

10.4 A közelmúlt gazdálkodásának, valamint a környezet (talaj) terhelésének megítélése és összevetése Nyugat-Európával

Az elmúlt évtizedekben a gépesítés és a kemizáció eredményeképpen hazánkban is rohamosan nőtt a termőföldek veszélyeztetettsége. A káros folyamatok méreteit, részben talán szubjektív megítélésre támaszkodva az alábbiakban becsülik (Szabó 1975, 1983, Szabolcs és Várallyay 1978, Várallyay 1989, 1990 stb.):

1. A mezőgazdasági terület 1945 óta évente átlagosan 20 ezer hektárral csökkent. A termőföldnek nem volt sem értéke, sem gazdája.
2. Erősödött a talajpusztulás, a szél- és vízerózió, amely az ország 40-50 %-át érintheti. A sík vidéken a szélerózió, dombos vidékeinken pedig a vízerózió jelentős. Mindezt erősítette a nyitott nagytáblás gazdálkodás, a helyenként hegyoldalra került kukoricatermesztés.
3. Főként az erózió és defláció miatt csökkent a talajok humusztartalma, romlott szerkezetük, degradálódhatott a talajélet. Mindez a potenciális termékenységet érinti hátrányosan, a műtrágyák látszólagos hatékonysága nő (utóbbiak nélkül egyre instabilabbak a termésszintek).
4. Megnőtt a másodlagos szikesedés és láposodás által érintett terület, valamint a savanyú talajok aránya.
5. A gyomflóra elszegényedése maga után vonta a kiirthatatlan rezisztens gyomfajok erőteljes fellépését.
6. Nőtt a szennyvizekkel, szennyvíziszapokkal, ipari és kommunális szeméttel (mérgekkel) szennyezett területek aránya.
7. Összességében az egész mezőgazdaságunk rendkívül sérülékeny, erősen függ a külső energia, vegyszer, gép stb. ellátástól. Csökken hatékonysága, versenyképessége, áruai nehezebben adhatók el. Nem képes ellensúlyozni az árarányok (agráröllő) romlását.

Felmerülhet a kérdés, milyen mérvű talajaink (növényeink) szennyezettsége Nyugat-Európához viszonyítva. Hiszen gazdaságunk versenyképessége a "tisza" termékek előállításának képességétől függhet a nyugat-európai export tekinteté-

ben. A szennyezés mértékének egzakt megállapítása és összevetése nehézségekbe ütközik. A következtetések levonásához az alábbi megfontolásokra utalhatunk:

- Milyen mérvű a terhelés, az emisszió a vizsgált régiókban?
- Mióta tart ez a folyamat, melyek a múltbani trendvonalai?
- Milyen mérvű a környezet elemeinek ellenállása, puffer- és szűrőképessége (ill. érzékenysége) a környezeti stresszel szemben, mint pl. az elsavanyodás, táp-
elem- és nehézfém túlterhelés stb.
- Milyen mérvű az állampolgár és az adminisztráció környezetvédelmi tudata, tűrőképessége? Mennyiben védekezik aktívan és tudatosan egész életmódjával (háztartás, közlekedés, munkahely) a hétköznapiak során?
- Az ipar, közlekedés, mezőgazdaság, szolgáltatás, oktatás, tehát az egész nemzet-
gazdaság általános állapota és felépítményeinek alkalmazkodóképessége a válto-
zó körülményekben?

A potenciális terhelés, az emisszió mértéke történelmileg tekintve kisebb lehetett hazánkban. Milyen érvek hozhatók fel e mellett:

1. Fejletlenebb volt az ipar, bányászat, közlekedés, energiatermelés és kevésbé intenzíven gazdálkodtunk. Főként a század első felében a 60-as évekig.
2. Jóval alacsonyabb népsűrűségünk és az életszínvonalunk.
3. Természetes környezetünk ellenállóbb a káros terheléssel szemben. Vizeink elsavanyodásra nem hajlamosak, folyóink és tavaink meszesek. Talajaink nagyobb része kolloidokban gazdagabb, kötöttebb, meszes altalajon képződött, vagy már a felső rétegben is meszes.

Tehát az intenzívebb környezetszennyezés rövidebb múlttra tekint vissza, a tápanyagok és környezetterhelő elemek akkumulációja kevésbé előrehaladott, eltekintve egyes régióktól, gócotól. Az említett előnyös helyzetünk azonban gyorsan megváltozott, főként az utóbbi 2-3 évtizedben:

1. Nőtt a környezetszennyező ipari, bányászati (meddőhányók) tevékenység.
2. Ugrásszerűen emelkedett a turizmus, a vele járó közlekedési-szolgáltatási stb. környezetterhelő tevékenységgel.
3. A mezőgazdaság kemizálása és gépesítése kiteljesedett (túltrágyázás, túlvédeke-
zés, túlművelés stb. jelenségével párosulva).
4. Nőtt a lakosság életszínvonala (szemét és szennyvíz termelése), mobilitása és élettér igénye (közlekedés, nyaralók a tájban).
5. Mindezzel nem tartott lépést a környezetvédelmi tudat erősödése.
6. Az elavult ipar, a pocsékoló mezőgazdaság, az oktatás, az adminisztráció stb. képtelen volt alkalmazkodni a környezeti elvárásokhoz.

Az említett okok miatt ipari körzeteink és nagyvárosaink levegője, talaja és növényzete erősen szennyezetté vált. A mezőgazdasági művelés alatt álló területe-
inken, legalábbis a jelenlegi ismereteink és adataink alapján a környezet állapota
nem tekinthető tragikusnak. Talajaink és vizeink bizonyos tekintetben kevésbé
szennyezettek, mint Nyugat-Európa számos térségében. Ennek ellenére terméke-
ink nem kellően versenyképesek. A technológiai lazaság, a nem kellően megalapo-
zott szaktanácsadás következtében gyakran túllépik a megengedhető nitrát,

nehézfém vagy szermaradvány határértékeket, vagy egyéb minőségi paramétereknek nem tesznek eleget.

Az egyre szigorodó közöspiaci szabványok betartása csak a rendkívül szigorú technológiai fegyelem és tudományos igényű gazdálkodás, ill. irányítás mellett lehetséges. A növényi termékek minőségét és tisztaságát folyamatosan ellenőrizni (monitoring) kell majd az egységes műszerparkkal rendelkező állami, ill. szaktanácsadói mérőhálózatnak. A szűrőpróbaszerűen végzett elemzés nem elégíti ki a vásárlót (pl. "a káros anyag előfordulása 2-3 % között van"). A fogyasztó biztos akar lenni abban, hogy az általa vásárolt tétel mentes a káros anyagoktól. Az élelmiszereket a tételes vizsgálatot követően, minőségi jeggyel kell ellátni (márkajelzés) és hamisításra alkalmatlan csomagolásban forgalomba hozni.

A tudományos igényű szaktanácsadás lehetőséget nyújt az üzemi természettechnológia láncszemeinek kontrolljára is a rendszeres végtermék-ellenőrzésen túlmenően. Szükség lesz a talajok és növények elsődleges szennyeződését megelőző korlátozó intézkedésekre, beleértve a gazdálkodási tevékenység korlátaát, a svéd példához hasonlóan. A hagyományos talajvédelem alapvetően a talajok termelési funkcióját volt hivatott védeni. Előtérbe kerül a talajok környezetvédelmi szempontból fontos szűrő és pufferoló funkciójának védelme, mely hosszú távú kihatásait tekintve alapvető.

10.5 A jövő feladatairól és a kutatási prioritásokról

A mezőgazdaság alapvető érdeke a környezetterhelés csökkentése, ezért az agrárszférában tevékenykedőknek minden területen (ipar, közlekedés, települések) támogatnia kell a környezetvédelmi erőfeszítéseket. A korábban gyakran tapasztalt szembenállásnak nincs létalapja. Az energaintenzív pályáról a zártabb ökológiai gazdálkodásra való áttérés nemcsak a mezőgazdasági szennyezőforrások radikális csökkentését eredményezheti, hanem a kiszolgáló ágazatokban is drasztikusan mérsékelheti a környezet terhelését, úgymint a nehéziparban, mező-gazdasági gép- és járműiparban stb. A szűkebben vett szakmai intézkedéseket az alábbiakban kíséreljük meg áttekinteni:

1. A termőföld mennyiségi és minőségi védelmét biztosító jogszabályok és előírások további szigorítása és végrehajtásuk helyszíni ellenőrzése.
2. Az állatsűrűség és a trágyatermelés korlátozása a pontszerű szennyeződések elkerülése és a fokozottan védett területek (Balaton, kiemelt vízvédelmi körzetek stb.) megőrzése érdekében.
3. A műtrágyák és növényvédőszeres állami támogatása helyett azok jövőbeni adóztatása.
4. Kémiai növényvédelem alkalmazása csak kifejezetten kárelhárító jelleggel és szakmai felügyelettel történhet. Az ún. "technológiába iktatott védekezés", ha kell, ha nem alapon, kerülendő és üldözendő.
5. A szennyezett területeken (ipari körzetek, nagyvárosok az autópályák mentén) közvetlen fogyasztásra termelt növények forgalmazásának és fogyasztásának tiltása. Felülvizsgálandó a Budapest lakosságát jórészt kiszolgáló zöldségter-

melő gyűrű funkciója, hozzájárulása a főváros lakosságának terheléséhez, egészségügyi helyzetéhez.

6. A környezeti feltételeknek megfelelő táblaméretetek és üzemméretek, valamint agrotechnika visszaállítása, amelyek a talajpusztulást lehetetlenné teszik. Az emberi léptékű üzemeknek és tábláknak legyenek gazdái, olyan tulajdonosai, akik érzelmiileg is kötődnek hozzá és hosszú távú védelmében, a talaj megőrzésében személyesen és érdekeltek.
7. Végül olyan új szaktanácsadási módszer és rendszer létrehozása, amely a tudomány eredményeit és az ökológiai alapelveket alapul veszi, biztosítja a környezetkímélő gazdálkodás feltételeit.

A növénytáplálást érintő kutatási prioritások közül vázlatosan kiemelhető:

1. A főbb hazai talajok és növények háttérszennyeződésének számbavétele.
2. A talajokat és növényeket terhelő szennyezőforrások (atmoszférából származó nedves és száraz ülepedés, közlekedés, műtrágyák, szerves trágyák, peszticidek, öntözés stb.) hatásának vizsgálata.
3. A káros elemek talajban és növényben történő akkumulációjának, valamint mobilitásának vizsgálata. A növényi felvehetőséget befolyásoló agrotechnikai beavatkozások, mint a trágyázás, meszezés, művelés stb. kölcsönhatásainak megismerése.
4. Talaj- és növényvizsgálati határkoncentrációk megállapítása eltérő szituációkban (talajtulajdonságok, növényfaj, tápláltság, antagonizmusok stb.). A talajok és növények környezeti stresszel szembeni ellenállóképessége növelésének módzatai.
5. A káros elemek forgalmának becslése (mérlegei) országos szinten a hosszú távú folyamatok előrejelzése, az országos szintű áttekintés, ill. beavatkozás céljából.
6. A talaj-növény-állat(ember) tápláléklánc vizsgálata egzakt szabadföldi kísérletek, valamint az arra épülő takarmányozási-etetési vizsgálatok alapján.

Kétségtelenül a nemzetközi környezetvédelmi programokkal (UNEP, UNESCO, Duna Project, Ember és Bioszféra stb.) való szorosabb együttműködésre lesz szükség. Az új kutatási eredményeket a hazai oktatás és szaktanácsadás minden szintjén integrálni és érvényesíteni kell majd. A mezőgazdasági kutatási hálózatban elsősorban helyzetfeltáró vizsgálatok, valamint a hozzá kapcsolódó védekezési eljárások kidolgozása kerülhet előtérbe. Az alapkutatásokra épülő, perspektívákat feltáró elemzések számára ma még az MTA intézményei sikerebben vállalkozhatnak. A kutatási programok tételes kidolgozása, végrehajtása és irányítása terén a vezető (nem adminisztratív) kutató egyéniségek meghatározó szerepét, alkotói szabadságát és felelősségét kell elfogadni. A szakmai kérdésekben nem kompetens hivatalnokok, politikusok és ún. "tudománypolitikusok" felelőtlen beavatkozásait korlátoznunk kell a jövőben.

Meg kell határozni a különböző talajok megengedhető "összes" károsanyag-tartalmát, egységes módszert alkalmazva. A forgalmazott trágyaszerek összetételének ismeretében (műtrágyák, szerves trágyák, szennyvíziszapok, talajjavítók stb.) előírható a felhasználás korlátozása és a termelési érték a talajtulajdonságok függvényében. Ismernünk kell talajaink oldható, ill. felvehető elemtartalmát.

Tudatában kell lennünk, hogy a határkoncentrációk csak a talajtulajdonságok függvényében értelmezhetők. A korábban oldhatatlan (immobilis és ezért nem mérgező) frakció oldhatóvá és mérgezővé válhat, amennyiben pl. a talaj elsavanyodik. A talajelemzési adatok és az összefüggések ismeretében ilyenén változások előre jelezhetők és kiküszöbölhetők.

A káros elemek és nehézfémek egy része felhalmozódhat a növényben (amint a korábbi fejezetben láttuk) vagy a növény felületén anélkül, hogy annak fejlődését károsítaná. A növényevő állat vagy az ember számára mindez veszélyt jelenthet. Meg kell állapítani tehát a felvehetőséget az ember és állat számára elemenként és állatfajonként. Esetenként a növényevő állat nem károsodik kimutathatóan a terheléskor, de valamely szervében a káros elem nagymértékben feldúsulhat. A tápláléklánc végén álló ragadozók és az ember számára ez a gyakran nagyságrenddel megnövelt koncentráció már igen veszélyessé válhat tartós fogyasztás esetén. Ezért a fogyasztandó termékekre és az ivóvízre meghatározzák a káros elemek beltartalmi határértékeit, valamint a napi fogyasztási normákat is.

A környezetvédelem igényei szükségessé teszik, hogy az elkülönült szaktudományok képviselői átlépjék eddigi tevékenységük határait és közösen vizsgálják az összetett jelenségeket, ahogy azok a természetben megnyilvánulnak. Enélkül az egész, a valóság nem ismerhető meg. Az interdiszciplináris megközelítés a rokon természettudományok részvételén túl a társadalomtudományok (jog, közgazdaságtan) részvételét is igényli. Az együttműködés lassan jön létre, feltételei nehezen teremtnének meg és nem önmaguktól.

A környezetvédelem feladatai összehangolt tevékenységet igényelnek és össztársadalmi érdeket fogalmaznak meg, ezért az állami tevékenység részét képezik. Egyedül az állam képes a központi szabályozásra, a megfelelő hatósági feladatok ellátására. A kielégítő működés feltételeihez (infrastruktúra) kell sorolnunk többek között

- a megfelelő intézményi háttérrel, egységes irányítást,
- a megfelelő laboratóriumi hálózatot, egységes műszerparkot,
- a megfelelően kiképzett személyi állományt.

A költségeket döntően az államnak kell viselnie, beleértve a szaktanácsadás terheit is. Ez nem pusztán a termelő vagy kistermelő gazda érdeke, hanem közérdek. A földet valójában csak használja a termelő akkor is, ha jogilag az egyedüli tulajdonosa. A gazdálkodás, a föld- és vízhasználat nem pusztán termelési aktus, hanem az egész társadalom létfeltételeit meghatározó életter ill. természeti erőforrás használatát jelenti. A tulajdonos termelő csak a föld (víz) környezetkímélő használatára jogosult. Amennyiben erre nem képes, úgy a használattól eltiltható, ill. jogosítványa megvonható.

A gazdálkodás magas szintű ismereteket igényel, ezért folytatása némely nyugat-európai országban vizsgához vagy diplomához kötött. A gazdát segíti az állam a szaktanácsadáson keresztül, mely az útmutatásokon túl korlátokat is előírhat és ellenőrzési funkciót elláthat. Hazánkban a feladatok végzésére pl. a Növény- és Talajvédelmi Szolgálat hálózata a szükséges átképzést és műszaki fejlesztést követően, valamint tudományos-módszertani irányítását létrehozva alkalmas lehet.

A hazai vizsgálatok és kísérletek korlátozott volta miatt elsősorban a nemzetközi szabványokat adaptáljuk, és pótoljuk a hiányzó adatokat. A szabványok fejlesztése folyamatos feladat. A normatívák meghatározása és a szabványosítási tevékenység megköveteli, hogy az illetékes állami szervek szakértői szabványelőkészítő grémiumokat működtessenek, a tudomány legjobb képviselőit ide bevonják, és velük a kapcsolatokat ápolják. A legújabb ismeretek és kutatási eredmények függvényében folyamatosan revideálni kell az állandóan működő grémiumoknak pl.

- a termőföld védelmével kapcsolatos normatívákat,
- a növényi termékek minőségére, összetételére vonatkozó szabványokat,
- a trágyaszerek és talajjavító anyagok felhasználására vonatkozó előírásokat,
- a gazdálkodást korlátozó normatívákat (állatsűrűség, trágyatermelés stb.)
- a szaktanácsadás alapelveit és módszereit érintő előírásokat.

A folyamatosan szigorodó közös piaci normatívák és szabványok hazai adaptálhatóságát a felmerülő kutatási igényeket megfogalmazva állandóan elemezni kell. A legkorszerűbb számítógépekkel összekapcsolt automata mérőrendszerek (levegő, víz, talaj) is vajmi keveset érnek azonban a szükséges jogi keretek nélkül. A jogi szabályozásba mind a hatásköri, mind a technikai háttérnek az írott szabályokba, eljárási előírásokba foglalása és a kényszerítő büntető szankcióknak kimunkálása beletartozik. A jogi szabályozás tárgya lehet a víz, a levegő, a talaj, a növény, az állat. (A vízjog rendkívül fejlett az USA egyes száraz déli államaiban, ahol ez a természeti erőforrás korlátozó tényező. A dél-kaliforniai Los Angeles városa pl. sok száz mérföldről kénytelen szállítani, ill. vásárolni a vizet.)

A hatékony jogi védelem és a bírságolás szempontjából is meg kell határozni a talajt érő káros szennyeződések fajtáit, határértékeit, a jognak fix pontra van szüksége az ítélethez, nem tűri a bizonytalanságot. A természettudományban ilyen fix pontok nem léteznek, hiszen a toxicitás, a terhelhetőség (felvehetőség) a talajtulajdonságok és a növényfaj stb. függvénye. Utóbbira nem a rendeletben, hanem annak végrehajtási utasításában utalnak. Ebből adódóan: "Előfordulhat, hogy valamely szennyezés az engedélyezés szempontjából nem káros, a bírságolás szempontjából viszont igen. A szabályszerű engedély alapján megépített tisztítóberendezés tehát nem mentesíti a létesítőt a bírságfizetés alól" - jegyzi meg Kilényi (1979). A kár tekintetében mutatkozó nagyfokú bizonytalanság annak tulajdonítható, hogy e jogi fogalom tartalmát voltaképpen nem jogi, hanem inkább fizikai, kémiai és biológiai tényezők határozzák meg. Ezt az ellentmondást hivatott feloldani az interdiszciplináris megközelítés.

A megkívánt időszerű tudományközi együttműködés hiányában a jogalkotók képtelenek a "károsság" fogalmát célszerűen alkalmazni. A talajszennyezést megállapító helyszíni vizsgálat egyben az államigazgatási eljárás része és olyan elsődleges bizonyítási eljárásnak tekinthető, amelyet a mért adatok és határértékek alapján követhet hatósági intézkedés. A szankcionálás azonban ma még gyakran elmarad, mert az egyértelmű metodika, határértékek és azok értelmezése, jogi formába öntése nem megoldott. A hatékony környezetvédelem igényelné, hogy a jogalkotók is bekapcsolódjanak (már a korai szakaszban) a határértékek és az

irányelvek megfogalmazásába, a szabványügyi grémiumok munkájába és az irányelveket előkészítő bizottságokba.

A környezetvédelem differenciált védekezést jelent a helyi környezeti jellemzők alapján. Hiszen az időtől, helytől és a körülményektől független határérték táblázatok nem megfelelőek. A talajokat, térségeket kategorizáljuk és más bírságot javasolunk a különös védelemre szoruló körzetekben és talajokon, vízvédelmi területeken. Mint ismert, a környezetszennyezés okozta károk becslése számos nehézségbe ütközhet:

- Az okozati összefüggések nem közvetlenek és egyértelműek.
- Az okozott károk ritkán fejezhetők ki pénzben.
- Nehéz felderíteni mind a károkozók, mind a károsultak körét.

Amint erre utalnak, a hagyományos polgári jog kárfogalma e téren nem alkalmazható, a kiszabott bírságok aránya a globális károkhoz viszonyítva elenyésző. Szükségessé válik a tényleges kár megállapítása azonban a jövőben, mely a "károkozó fizet" elv érvényesítését jelentené az eredeti állapot visszaállítása-nak költségeivel. (Már amennyiben az eredeti állapot egyáltalán visszaállítható, hiszen a környezet elemeit nem emberi kéz hozta létre és működését sem értjük átfogóan.)

A mezőgazdasági környezetvédelem a földművelési tárca elsődleges felelőssége. Illetékességi területén hatósági felügyeletet kell gyakorolnia és érvényt szereznie az ökológiai gazdálkodás alapelveinek. Mivel a tárca elsődlegesen a termelést koordinálja rövid távú termeléspolitikai érdekeknek megfelelően, szükség van független környezetvédelmi ellenőrző hálózatra és tudományos testületekre, melyek, mint kívülállóak "másodfokon" felülbírálnak és ellenőrizhetik az FM hatóságok ítéleteit, ellenőrzik méréseit stb. Az említett tudományos testületekbe célszerű lenne olyan szakembereket felkérni a jövőben, akik nem egy tárcához tartozó, és attól egzisztenciálisan függő intézményekben, vagy tanszékeken dolgoznak, hanem független és ismert külső kutatók.

10.6 Talajtermékenység megőrzése a fenntartó gazdálkodásban

A talajtermékenység fenntartásának és a növénytaplálásnak alapelveit az érintett tudományok évszázados fejlődésük során kidolgozták. A fenntartó gazdálkodás követelményei nyomán újragondoljuk ezeket az alapelveket és módszereket. A tudomány és a gyakorlat által bizonyított alapigazságok azonban nem változnak. Az eddigi kutatások eredményei, a kísérleti kezelések tapasztalatai alapján a legfőbb kérdések megválaszolhatók. A spanyolviaszt nem kell újra felfedezni. A hazai agronómia és növénytaplálás kimagasló képviselőinek munkáiban a környezetkímélő racionális gazdálkodás szinte minden elemét megtaláljuk (Cserhádi és Kosutány 1887, 'Sigmond 1904, Cserhádi 1905, Kreybig 1955, 1956, Grábner 1956, Westsik 1965, Antal et al. 1966, Sarkadi 1975, Láng 1976, Györffy 1976, Bauer 1976, Bócsa 1979, Láng et al. 1983, Szabó 1986 stb.)

Nem a művelésről, a növényvédelemről, a trágyázásról vagy műtrágyázásról kell lemondanunk. Szakítani kell viszont az értelmetlen túlműveléssel, túlvéde-

kezéssel, túltrágyázással, a kukorica és más kapás növény lejtős területeken való vetésével, stb. Hasonlóképpen, nem erőltethetjük a monokultúrát, ill. ki kell használnunk a növényváltás előnyeit csökkent műtrágyaigényével és növényvédelmével. A monokultúra és a vetésváltás problémáit Győrffy (1976) taglalta igen átfogóan a hazai újabb kori irodalomban.

Az előző fejezetekben hangsúlyoztuk, hogy a műtrágyák funkciója a hiányzó elemek pótlása. Amennyiben és amilyen mértékben ez a hiány fennáll, a tápelemet pótolni kell. Amint már Lomonoszov is felismerte, ezzel a talaj hiányosságait küszöböljük ki. Az eredmény termékenyebb és egészségesebb talajélet, növényi produkció, állatvilág és emberi közösségek. A termések különösen monokultúrában csökkennek gyorsan, mert erősebb a kártevők fellépése, valamint a talaj-tápanyagok egyoldalú használata. Erre mutatunk be példát a *10.1 táblázatban*. A kísérleteket más összefüggésben már a *4.9-4.11 táblázatok* kapcsán korábban taglaltuk és a P-utóhatásokat elemezve megállapítottuk többek között, hogy:

"Amennyiben abbahagyjuk a P műtrágyázást a P-ral gyengén ellátott talajon, már az első évektől terméscsökkenéssel számolhatunk. A közepesen ellátott talajon azonban még hasonló monokultúrás viszonyok között is csak a 3-4., míg a jól ellátottna 6-8. éveket követően következhet be jelentősebb terméscsökkenés."

"Agronómiai szempontból azonban nem lehet célunk a talaj-P minél teljesebb kihasználására törekedni, mert ez csak a P-ral gyengén ellátott talajon és kis termések árán válik lehetségessé. Először célszerű a talaj kielégítő ellátottságát elérni talajgazdagító trágyázással, majd ezt követően rátérni a fenntartó trágyázásra és így megőrizni a talaj termékenységet."

A fenntartó, ill. ökológiailag kívánatos trágyázás alatt tehát nem "kisadagú" trágyázást vagy a trágyázás elhagyását értjük. A szükséges, ill. kívánatos fogalmában, amennyiben az adott talajon arra igény van, ill. a hiány mértéke indokolja, a talajgazdagító vagy a feltöltő trágyázás is természetesen benne foglaltatik. Amint a *10.1 táblázat* adataiból látható, mérsékelt fenntartó (a növényi felvételt ellensúlyozó) trágyázás nélkül a termésveszteség iszonyúan nagyra válhat monokultúrában. Különösen kedvezőtlen "gabonaévek"-ben, mint amilyen az 1975., 1979., 1988, 1990. évek voltak. A termések felét, esetleg 2/3-át is elveszíthetjük.

A vetésváltás során ugyanezen a talajon és évek során a termésveszteség mindenféle trágyázás nélkül is gyakran mérsékelt volt (*10.2 táblázat*). Bizonyos években és növényeknél azonban itt is rendkívüli módon jelentkezett. Így pl. a burgonyában és az őszi árpában 70-80 %, a repcében, mustárban és a tavaszi árpában 80-120 %, míg az igen gyenge gyökérzettel rendelkező mák esetében 275 % a megfigyelt ill. mért termésveszteség, a mérsékelt trágyázást jelentő fenntartó "műtrágyázott" kezeléshez viszonyítva. A kísérlet 18. évében azonban mindössze 13 % a tritikálében a kedvező 1991. évben. A vetésváltás tehát önmagában nem képes ellensúlyozni a talaj elszegényedését, a tápelemek pótlását. E kísérletet korábban már ismertettük a 4. fejezetben, kezeléseit a *4.12 táblázat* mutatta be.

10.1 táblázat: Monokultúrás termesztés hatása a búza termésére P-trágyázás nélkül és mérsékelt P-trágyázással P-szegény talajon, szabadföldi tartamkísérletben (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1973-1992)

A kísérlet kora éve	Növényi sorrend	Szemtermés t/ha		SzD _{5%}	Terméstöbblet	
		P-kontroll	P-trágyázott		t/ha	%
1 1973	búza	3.89	4.09	0.22	0.27	7
2 1974	búza	5.83	6.67	0.26	0.84	14
3 1975	búza	1.37	2.95	0.45	1.58	115
4 1976	búza	2.07	3.80	0.34	1.73	84
5 1977	búza	2.91	4.15	0.50	1.24	43
6 1978	búza	3.74	5.41	0.42	1.67	45
7 1979	búza	1.53	2.89	0.23	1.36	89
8 1980	búza	4.75	5.99	0.32	1.24	26
9 1981	köles	1.70	1.97	0.33	0.27	16
10 1982	lucerna	5.11	5.93	0.22	0.82	16
11 1983	lucerna	9.60	12.37	0.81	2.77	29
12 1984	lucerna	5.46	8.11	0.56	2.65	48
13 1985	t. árpa	2.94	4.66	0.17	1.70	58
14 1986	búza	2.43	3.60	0.22	1.17	48
15 1987	búza	2.59	3.99	0.33	1.40	54
16 1988	búza	0.88	2.49	0.30	1.61	183
17 1989	búza	2.66	4.49	0.94	1.83	69
18 1990	búza	1.74	3.54	0.59	1.80	103
19 1991	búza	2.43	5.10	0.74	2.67	110
20 1991	búza (terv)					

Megjegyezzük, hogy a 10.2 táblázatban ismertetett kísérletben N-hatásokat az első 3 évben egyáltalán nem kaptunk. Sőt a 4. évben is csak 1 t/ha körüli szem terméstöbbletet. Összesen mintegy 20 t/ha szemtermést adott a kontroll parcella a vizsgált 4 esztendő alatt. Ez mintegy 500 kg/ha N felvételét jelentette a talajból, trágyázás nélkül. A jelenség könnyen magyarázható. A kísérlet beállítását megelőzően az elővetemény többéves lucerna volt. A pillangós forgók N-igénye tehát drasztikusan csökkenthető.

A 4. évet követően a N-hatások rendre jelentkeztek évenként és növényenként eltérő mértékben. A kísérlet 18 éve alatt a talaj N szolgáltatása átlagosan 60-120 kg/ha mennyiség között adódott. Tehát mindenféle N-trágyázás, ill. pillangós növények beiktatása nélkül is ennyi N-t szolgáltathat ez a humuszos csernozjom. Azaz 3-5 t/ha GE-nek megfelelő terméseket tartósan nyerhetünk a jelenlegi agrotechnikai színvonal mellett, mindenféle N trágyázás nélkül is. Amennyiben pillangós volt az elővetemény (szója, borsó), ez a N-szolgáltatás 100-150 kg/ha/év körültre emelkedett.

10.2 táblázat: Főbb szántóföldi növényeink termésének alakulása vetésváltásban trágyázás nélkül és mérsékeltén műtrágyázva, szabadföldi tartamkísérletben (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1974-1993)

A kísérlet kora éve	Növényi sorrend	Főtermés t/ha		SzD5%	Terméstöbblet		
		Kontroll	Műtrágyázott		t/ha	%	
1	1974	búza	4.62	6.11	0.79	1.49	32
2	1975	búza	3.55	5.50	0.56	1.95	55
3	1976	kukorica	4.29	5.67	1.06	1.38	32
4	1977	kukorica	8.46	9.86	0.94	1.40	16
5	1978	burgonya	13.40	24.00	5.10	10.60	79
6	1979	ó. árpa	2.46	4.18	0.61	1.72	70
7	1980	zab	4.87	5.90	0.60	1.03	21
8	1981	cukorrépa	41.60	56.30	8.40	14.70	35
9	1982	napraforgó	2.67	3.42	0.68	0.75	28
10	1983	mák	0.20	0.75	0.26	0.55	275
11	1984	repce	0.69	1.38	0.65	0.69	100
12	1985	mustár	1.15	2.12	0.46	0.97	84
13	1986	t. árpa	2.37	5.24	0.69	2.87	121
14	1987	olajlen	1.48	1.78	0.48	0.30	20
15	1988	szója	1.63	1.89	0.46	0.26	16
16	1989	kender	4.69	6.77	0.95	2.08	44
17	1990	borsó	1.09	1.61	0.38	0.52	48
18	1991	triticale	5.40	6.11	1.14	0.71	13
19	1992	cirok (terv)					
20	1993	sárgarépa (terv)					

Műtrágyázás: Évente 100 kg/ha N adagot, valamint a "közepes" PK ellátottság fenntartását jelenti. (N₁P₁K₁ kezelések)

Az alternatív gazdálkodásban kerüljük a monokultúrát és így a pillangósok, valamint a talaj (a talaj szerves anyagának ásványosodása, szabadon élő N-kötő mikroorganizmusok, endomikorrhiza gombák feltáró tevékenysége, levegőből származó nitrát és ammónia) N szolgáltatását felhasználjuk. Az endomikorrhiza gombák felveszik a talajból a fontos tápelemeket, pl. az általában minimumban található nitrogént és foszfort, cserébe pedig cukrokat és más szerves anyagokat kapnak a gazdanövénytől. Hifájukkal sokszorosára növelhetik a növény víz- és tápanyagfeltáró képességét, mivel a gyökerek felületén találhatók. E talajon az említett gombákat sikerült izolálnunk (Szécsi et al. 1989).

Az alternatív gazdálkodás során nem törekszünk mindenáron a maximális termések elérésére. A csökkenő hozadék törvénye szerint (ellaposodó termésgörbe) az elérhető maximális termés alatt helyezkedik el a maximálisan gazdaságos termés optimuma. A műtrágyázási szaktanácsadás minden esetben csupán

becslést jelent, hiszen a trágyaadag pontosan nem határozható meg. Hasonlóképpen a termések pontosan nem tervezhetők, az időjárás előre nem ismerhető meg, tehát a trágyaigényt meghatározó körülmények csak durván becsülhetők. Az ökológiai szemléletű szaktanácsadásban azon túl, hogy nem törekszünk a termésmaximumokra, trágyázási filozófiánkban az alábbiakra támaszkodunk:

1. A termésbiztonságra törekvés szellemében eddig "biztonsági okokból" túltrágyáztunk. A környezet biztonsága érdekében inkább enyhén alultrágyázzunk.
2. Eddig a forgó legtrágyaigényesebb növénye szabta meg a trágyázás szintjét. A jövőben megelégszünk az átlagos trágyaigény figyelembevételével.
3. Utóbbi azt is jelenti, hogy újra visszatérünk a "közepes" vagy "kielégítő" (öt ellátottsági kategória esetén) ellátottság elfogadásához, nem törekszünk az e feletti ellátottság (feltöltöttség) elérésére. Itt az évenkénti mérsékelt (fenntartó) trágyázás biztosítja a kielégítő termésszinteket, valamint a talajtermékenység újratemelését a növényi felvételek (mérleg) alapján.

A 10.2 táblázatban bemutatott kísérlet körülményei között ez a mérsékelt fenntartó N-trágyázás pl. 100 kg/ha/év adagot jelentett. Az e feletti adagok nem növelték a növények termését, azonban gyakran csökkentették minőségét, betegséllenállóságát. Amint az 5.13 ábráról leolvasható, a talajprofilban nem jelentkezett bemosódás, mert a növényi felvétel mintegy 50 %-kal meghaladta ezt, átlagosan 150 kg/ha/év N mennyiség körül alakult. Az 50 kg/ha/év körüli mennyiséget a talaj pótolta. Az alábbiakban javaslatot teszünk a napraforgó példáján a racionális, az ökológiai alapelveknek is megfelelő műtrágyázási szaktanácsadásra.

10.7 A fenntartó műtrágyázási szaktanácsadás alapelveinek és módszerének bemutatása a napraforgó példáján

Javasatainkat korábban már összefoglaltuk és közzöltük, ill. vitára bocsátottuk (Kádár 1986, 1989). A vitában részt vevők, akik szabatos üzemi és szabadföldi kísérletekkel is rendelkeztek, az általunk kidolgozott módszert és ajánlásokat megerősítették (Szabó 1986, Dvoracsek 1986, Lukácsné 1988, Harmati 1989, Dvoracsek és Lukácsné 1989). A továbbiakban megkíséreljük a racionális tápanyaggazdálkodás főbb alapelveit és módszerét összefoglalni a jelenlegi ismereteink alapján (Kádár 1986, 1989, Kádár és Mazsolán 1989, Sarkadi és Várallyay 1989, Várallyai et al. 1990).

A napraforgó akkor reagál legjobban a trágyázásra, ha a talaj tápelem-ellátottsági szintje alacsony, ugyanakkor más tényezők (vízellátás, gyommentesség, tőszám stb.) nem limitálják a nagy termés elérését. Savanyú homoktalajaink egy részén a napraforgó termesztése bizonytalan, mint pl. a tápanyagszegény nyírségi területeken. Kísérletben igazoltuk (Kádár és Vass 1988), hogy e növény termesztése is gazdaságossá tehető az említett területeken, amennyiben a talaj felvehető tápelemtartalmát a kívánt szintre emeljük, és biztosítjuk a 6 körüli $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ értéket meszezéssel. Az alacsony tápanyagtőkével rendelkező homokon a napraforgó trágyaigénye nagy, mert jelentős mennyiségű tápelemet vesz fel.

Megfelelő tápelemkészlettel rendelkező vályog vagy annál kötöttebb talajainkon ugyanakkor nem, vagy alig reagál a trágyázásra. Erről tanúskodnak az ország 9 termőhelyén több éven át végzett Egységes Országos Trágyázási Kísérletek adatai (Dvoracsek 1986, Lukácsné 1988, Dvoracsek és Lukácsné 1989). Az NP trágyázás együttesen 4-5 %-kal csökkentette a kaszatok olajtartalmát. A legnagyobb olajhozamokat a kísérletek gyengén vagy közepesen ellátottnak minősülő parcelláin az évi 50 kg N és 50 kg P_2O_5 adagolásával nyerték. Ez a trágyaadag mintegy fele volt a MÉM NAK szaktanácsadásban ajánlott mennyiségnek, illetve az üzemi gyakorlatban felhasználtak.

Első lépésként javasoljuk a tervezett termés tápelemigényét figyelembe venni. A napraforgó fajlagos, azaz 1 t kaszat és a hozzá tartozó tányér + szár képződéséhez átlagosan 40 kg N, 20 kg P_2O_5 , 70 kg K_2O , 30 kg CaO és 17 kg MgO mennyiséget igényelhet. Tehát pl. az átlagos 3 t/ha kaszattermés NPK igénye: 120 kg N, 60 kg P_2O_5 , 210 kg K_2O . Kiugróan magas a K-igény. Kombájn betakarításnál csak a szem távozik a tábláról, a szár és a tányér leszántásra kerül. Ekkor az 1 t kaszat termésével csupán mintegy 30 kg N, 15 kg P_2O_5 10 kg K_2O veszteséggel számolhatunk. Kiugróan alacsony lett a K-igény. A főbb kultúrnövényeink fajlagos makroelem tartalmáról a *10.3 táblázat tájékoztat*.

Mi történne pl., ha egy egész évszázadon át a K-igényes napraforgót K-mal egyáltalán nem trágyáznánk? Olyan kötöttebb talajon, ahol a felvehető AL- K_2O 250-300 ppm körüli és a forgóba 5 évente kerülne napraforgó. Milyen termésvesztéssel számolhatnánk, kombájn betakarítási technológiát és 3 t/ha körüli kaszatterméseket feltételezve? Véleményünk szerint semmilyenre. Sőt ez is a javaslatunk. Ilyen esetben el lehet felejteni a napraforgó K-trágyázását, legalábbis az első 100 évben.

Végezzünk el gondolatban egy számítást! Egy évszázad 20 "napraforgóévet" jelent. A 3 t/ha/év kaszattermés pedig 30 kg/ha/év K_2O veszteséget. A száz év, azaz 20 napraforgóév alatt tehát 600 kg/ha K_2O mennyiségével csökkenne a talaj K-készlete. Valójában azonban nem a felvehető és nem a szántott rétegé. Hiszen a napraforgó mélyen gyökerező növény és a kevésbé felvehető frakciókat is hasznosítja. Ha feltesszük, hogy a növény a felvett K felét a szántott rétegből nyeri, amely mennyiségnek kb. fele az AL-oldható felvehető frakciót terhelte, akkor ez 150 kg/ha. Ez mintegy 10 ppm körüli AL- K_2O csökkenést eredményezne. A mintavétel hibája ennek néhányszorosa, még az igen precíz többismétléses kísérletekben is nehéz volna tehát kimutatni.

A talaj ellátottságát a *10.4 táblázat* szorzófaktorai szerint javasoljuk általánosan tekintetbe venni. A magas vagy már károsnak minősülő ellátottságon a trágyázás minőségromlást és terméseszköket eredményez. Célunk itt a már nemkívánatosan magas ellátottság gyors csökkentése. A P és K esetén a trágyázást néhány évig szüneteltetjük, majd az újabb TVG eredmények tükrében új szaktanácsot készítünk. Esetleg vetéskor kis adagú starter (indító) trágyázást végezhetünk trágyaigényes növények esetén. A kötöttebb és humuszosabb talajokon a tervezett termés N-igényének felével számolhatunk. Amennyiben a talajokon rendelkezésre állnak a vetés előtti ásványi N készletre vonatkozó TVG adatok, úgy a 0-60 cm réteg NO_3-N készlet mennyiségével a N műtrágyaigény csökkenthető.

10.3 táblázat: A főbb szántóföldi növények becsült fajlagos makroelem igénye kg/t betakarításkori főtermésre számolva (1 t főtermés + a hozzá tartozó föld feletti melléktermék tápelemtartalma. In: Kádár 1989)

Sorsz.	Növényfaj	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1.	Búza	27	11	18	8	7
2.	Rozs	26	12	20	10	4
3.	Őszi árpa	27	10	20	7	4
4.	Tavaszi árpa	23	9	18	12	4
5.	Kukorica	25	11	20	8	7
6.	Cukorrépa	4	1	6	2	1
7.	Burgonya	5	2	7	2	2
8.	Borsó	50	17	35	35	8
9.	Szója	62	37	64	40	35
10.	Lucerna széna	27	7	20	30	5
11.	Vöröshere széna	23	5	20	25	6
12.	Napraforgó	41	20	70	30	17
13.	Repce	100	45	120	100	34
14.	Olajlen	40	13	50	40	14
15.	Rostlen	12	6	12	10	3
16.	Kender	5	4	8	14	2
17.	Silókukorica	2.7	1.2	3.5	1	0.5
18.	Egyéves takarm.	3.0	1.0	3.0	2	0.4
19.	Rizs	22	10	20	10	6
20.	Dohány	59	10	89	77	17
21.	Füveshere széna	18	5	20	20	6
22.	Pillangós széna	20	5	15	10	5
23.	Réti széna	17	6	18	10	4
24.	Legelő széna	20	7	22	12	5
25.	Zab	28	12	30	6	4
26.	Mák	83	36	113	93	20
27.	Mustár	75	23	20	55	9
28.	Csillagfürt széna	30	8	28	7	5
29.	Köles	30	8	34	4	3
30.	Triticale	30	11	24	6	3

10.4 táblázat: A napraforgó trágyaigénye kg/t kaszattermésre számolva a talajellátottsági kategóriák szerint (1 t kaszat + tányér + kóró tápelemigénye alapján)

Átlagos fajlagos		Talajellátottsági kategóriák szerinti szorzófaktor				
NPK igény	kg/t	gyenge	közepes	kielégítő	magas	káros
Kötöttebb talajokon (nem trágyaigényes)						
N	40	1.0	0.8	0.6	0.4	(-)
P ₂ O ₅	20	1.5	1.0	0.5	(-)	(-)
K ₂ O	70	1.5	1.0	0.5	(-)	(-)
Homoktalajon (trágyaigényes)						
N	40	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4
P ₂ O ₅	20	2.0	1.5	1.0	0.5	(-)
K ₂ O	70	2.0	1.5	1.0	0.5	(-)

(-): Trágyázás felesleges

Azaz ha pl. a talajban legalább 120 kg/ha NO₃-N található a felső rétegekben vetés előtt, műtrágya-egyenértékűnek tekintjük és a 3 t/ha kaszattermés előállításához nem használunk N trágyát a humuszosabb, kötöttebb tábláinkon. A N- túladagolásra érzékenyebb növényeknél, mint a cukorrépa, dohány, és részben a napraforgó, csak akkor trágyázunk nitrogénnel, ha a hiány fellépését a tenyészidő során igazolni lehet újlágos TVG vagy NVG adatokkal, vagy a helyszínen egyértelműen diagnosztizálható a N alultápláltság.

A jó ellátottságú talajon trágyahatás nem várható. Célunk az ellátottsági szint fokozatos csökkentése az ellátottsági kategória alsó határáig. A túltrágyázásra érzékeny növényeknél ugyanis a trágyázás terméscsökkenést eredményezhet. Így pl. a P-ral jól ellátott meszes talajokon kukoricánál Zn-hiány léphet fel a P-trágyázás nyomán, a P-Zn antagonizmus eredményeképpen stb.

A nem trágyaigényes növényeknél, pl. a napraforgónál kötöttebb talajokon a PK trágyázás szüneteltethető. A trágyaigényes kultúráknál 1/2, az erősen trágyaigényeseknél teljes visszapótlás indokolt a tervezett termés fajlagos PK igénye alapján. A N szükséglet mintegy 1/3-ával mérsékelhető a humuszosabb talajon. Ha a 0-60 cm réteg NO₃-N készletének adataival rendelkezünk vetés előtt, a tervezett termés N igényéből a talaj-N mennyiségét levonjuk és a különbséget (hiányt) fedezzük műtrágyával.

Igényes növényeknél kielégítő ellátottságon esetenként mérsékelt trágyahatás várható. Azaz fennáll a terméscsökkenés valószínűsége. Ezért teljes vagy 1.5-szeres visszapótlásra törekszünk e növények esetén, míg a nem trágyaigényeseknél 1/2 visszapótlás javasolt (napraforgó kötöttebb talajon). Összességében itt a fenntartó trágyázást valószínűsítjük meg a forgó egészére, tehát a N szükségletet is hasonló módon biztosítani kell. A talaj 0-60 cm rétegének NO₃-N készletével természetesen a műtrágya N-igény mérséklődik.

Közepes ellátottságon a gazdaságosan nagy termések már nem érhetők el jelentősebb trágyázás nélkül. Ezért itt 1.5-2-szeres PK trágyázás is indokolt lehet,

hiszen a talaj nem kielégítően ellátott. A nem trágyaigényes növények tervezett tápelemigényét is biztosítjuk. Homokon a napraforgó is trágyaigényessé válik, tehát a 1.5-2-szeres PK trágyázással számolunk. Célunk a talaj ellátottságának növelése, lassú feltöltése. A teljes N-igény pótlása indokolt. A talaj N-készletével a trágyaigény hasonló módon csökken.

A gyenge vagy igen gyenge ellátottságon minden növény jelentős trágyázást igényel, különösen homoktalajon. A gazdaságos termésmaximumok elérése céljából trágyaigényes növényeknél akár 2-3-, a kevésbé igényeseknél 1.5-2-szeres pótlásra lehet szükség. Célunk nemcsak a termésveszteség elkerülése, hanem a talaj ellátottsági szintjének gyors növelése. A teljes N pótlás indokolt. A talaj N-készletével a tervezett N-igény csökken.

Összefoglalva: A trágyázásnak kettős célja van. Egyrészt elkerülni a termésveszteséget az alultrágyázásból vagy túltrágyázásból eredően. Másrészt a talaj ellátottságának fenntartása a "kielégítő" szinten, ahol a trágyázás a leghatékonyabb gazdasági szempontból, ugyanakkor nem terheli feleslegesen a környezetet. Az alábbiakban megkíséréljük a 10.5 táblázatban számszerűen is értékelni a PK-trágyázás filozófiáját egy hosszabb időszakot, pl. vetésforgót feltételezve.

10.5 táblázat: A P és K visszapótlás irányelvei vetésforgóban a talaj ellátottsága, valamint a növény trágyaigényessége függvényében (Kádár 1989)

A P és K ellátottság szintje (kategóriája)	A visszapótlás intenzitása (szorzófaktor) <i>(szorzófaktor)</i>		
	Trágyaigényes	Nem igényes	Forgó egésze
Magas vagy káros	-	-	-
Jó	1	-	0.5
Kielégítő	1.5	0.5	1.0
Közepes	2	1	1.5
Gyenge	2.5	1.5	2.0

Megjegyzés: A napraforgó homokon trágyaigényes

A műtrágyahatásokat módosító egyéb tényezők figyelembevétele:

1. A N-igény csökken egyéves pillangós elővetemény után átlagosan 30, évelő pillangóst követően pedig az állománytól függően 40-60 kg/ha/év mennyiséggel.
2. A N-igény nő humuszban szegény és nitrogénnel gyengén ellátott talajon tág C:N arányú, és nagy tömegű szerves anyag (szalma, kukorica és napraforgó szára stb.) leszántásakor, 8 kg N/t szármaradványra számolva.
3. A tervezett termés tápelemigénye csökken, amennyiben az elővetemény termése lényegesen elmaradt a tervezettől valamilyen elemi kár, mint pl. szárazság, fagykár, betegség miatt. A közepesnél jobban ellátott kötöttebb talajokon, az előző évben felhasznált trágyák utóhatását tekintetbe véve, az előző növény által fel nem vett NPK mennyiség 50 %-ával.
4. A fajlagos átlagos K₂O igény csökken kombájn betakarításnál, amikor csak a szem távozik a tábláról. A kalászosoknál 10, a kukoricánál 15, míg a napra-

forgónál 60 kg/t-val kevesebb kálium mennyiséggel számolunk (tehát 70 helyett 10 a fajlagos igény utóbbi esetben).

5. Az NPK-igény csökken az alábbi módon, közepes minőségű almos istállótrágya leszántásakor, 10 t istállótrágyára vetítve:

Első évben	20 kg N	20 kg P ₂ O ₅	40 kg K ₂ O
Második évben	20 kg N	20 kg P ₂ O ₅	30 kg K ₂ O
Összesen a forgóban	40 kg N	40 kg P ₂ O ₅	70 kg K ₂ O

6. Az NPK-igény csökken az alábbi módon, átlagos összetétellel számolva, minden m³ hígtrágya leszántásakor:

Friss trágya	1.5 kg N	0.6 kg P ₂ O ₅	0.9 kg K ₂ O
Állott trágya	1.0 kg N	0.4 kg P ₂ O ₅	0.8 kg K ₂ O

7. A P₂O₅ igény mintegy 20 %-kal nő, amennyiben a talaj CaCO₃ %-a 20 felett van, tehát túlzott a karbonátosság, vagy a pH(KCl) 5 alatti, tehát túlzott a savanyúság. Mindez a gyenge és közepes ellátottság esetén javasolt.

A talaj AL-oldható PK tartalmának határértékeit a 10.6 táblázat foglalja össze. A felvehető P-tartalmat a talaj reakcióállapota, míg a K tartalmakat a kötöttség függvényében kategorizáltuk. Mint ismeretes, ezen tulajdonságok döntően befolyásolják a talajvizsgálati adatok értelmezését.

10.6 táblázat: A talaj AL-oldható P₂O₅ és K₂O tartalmának javasolt határértékei (Kádár 1989)

Termőhely talaja	Tápelemellátottsági határérték tartományai				
	Gyenge	Közepes	Kielégítő	Magas	Káros
AL-P ₂ O ₅ ppm					
Savanyú	50 alatt	51- 80	81 - 120	121 - 150	151 felett
Semleges	80 alatt	81-120	121 -150	151 - 200	201 felett
Meszes	100 alatt	101-150	151 -200	201 - 250	251 felett
AL-K ₂ O ppm					
Homokos	50 alatt	51- 100	101 -150	151 - 200	201 felett
Vályogos	100 alatt	101 - 150	151 - 200	201 - 250	251 felett
Agyagos	150 alatt	151 - 200	201 - 250	251 - 300	301 felett

A hazai szabadföldi és üzemi kísérletek alapján összefoglalóan megállapítottuk, hogy az ország művelt területének kb. 80 %-át kitevő kötöttebb, nagyobb összes tápelemkészlettel rendelkező talajain a maximális termések a hivatalosnak tekintett MÉM NAK szaktanácsadás által javasolt műtrágyaadagok mintegy felével elérhetők a minőség egyidejű javítása mellett. Ez a 80-as években, a mintegy 300 ezer hektáron és országosan, 0.5-1 milliárd Ft megtakarítást eredményezhetett volna évente a napraforgóban.

Üzemi és kisparcellás kísérletekben végzett számításaink szerint ugyanis az üzemekben hektáronként átlagosan mintegy 2 ezer Ft körüli terhet jelenthetett a

feleslegesen kiadott műtrágya költsége, valamint akár másik ezer Ft körüli veszteséget okozhatott a lecsökkent olajtartalom és betegségellenállóság. A tudományos igényű, ökológiai szempontokat is figyelembe vevő műtrágyázási szaknácádással, amennyiben azt végre is hajtják, ezek a veszteségek elkerülhetők és a környezet felesleges terhelése műtrágyákkal kiküszöbölhető (Kádár 1989).

A fenntartó, megőrző gazdálkodás a fejlődő világ számára talán még fontosabb, mint számunkra. Afrika kiterjedt térségeiben már ma is a túlélés egyetlen reményét jelentheti. Amint többen említik, míg a környezet pusztulását kikényszerítő emberi magatartás mögött a fejlődő országokban a szegénység, addig a fejlett országokban a gazdagság és a túlfogyasztás iránti kényszer lelhető fel. A fenntartó mezőgazdaság iránti érdeklődés a helyi őstermelés és életmód körülményeihez adaptálva, Afrika szegény országaiban is megnőtt. Erről számol be Okigbo (1991) átfogó munkája.

10.8 Szükségszerűen vezet-e a műtrágyázás genetikai degradációhoz?

Erre az izgató kérdésre a válasz nem könnyű, de a növénytáplálással és műtrágyázással foglalkozó szakemberek a problémát nem kerülhetik meg. Olyan átfogó hazai kísérlet sorozatokról nincsen tudomásunk, amelyek a műtrágyázás hatását több generáción át vizsgálták volna a táplálékláncban, tehát a növényállat (ember) rendszerben. A közelmúltban már kezdeményeztünk hasonló vizsgálatokat. A rendelkezésünkre álló részeredményeket ilyen szemmel már áttekinthetjük:

1. Amennyiben a műtrágyák a hiányzó elemeket pótolják, a növények termését nem szükségszerűen rontják, hanem javítják. Erre az előző fejezetekben elégséges példát szolgáltatunk.
2. Az egyoldalú táplálás valóban betegségeket indukálhat a növényben, ill. a táplálékláncban. Az élőlények tápláltsági állapota, valamint a rezisztenciája nem független egymástól. Az alultápláltság egyfajta (hiány)betegségek fellépését segítheti, míg a túltápláltság másfajta (pl. az embernél civilizációs) bajok forrása lehet. A növénynél e két jelenség összefonódhat: egy elem túlsúlya más elem relatív vagy abszolút hiányán alapulhat.
3. A szakszerűtlen műtrágyázás diszharmoniót jelent és a talajszennyezés egyik formáját öltheti. A fenntartó trágyázás a harmonikus ellátottság megőrzését célozza, amely egészségesebb és jobb minőségű terméket nyújthat számunkra. Tehát nem szükségszerűen vezet az élővilág degradációjához, sőt növelheti az életközösségek stabilitását.
4. Ez a megállapítás nemcsak az elsődleges növényi produkcóra lehet igaz, hanem a talajéletre is. Szabadföldi és tenyészedény kísérleteinkben, különböző talajokon és növények alatt azt találtuk, hogy "...A cellulózbontó aktivitás, valamint a baktériumok és a sugárgombák talajbani mennyisége a talajtermékenység jellemzői, melyek szoros kapcsolatban állnak a növényi hozamokkal és a tápelemfelvétellel. A trágyázás (műtrágyázás), amennyiben a hiányzó tápelemek pótlására illetve a harmonikus ellátottság létrehozására irányul, egyaránt növelheti a talaj cellulózbontó (tágabban biológiai) aktivitá-

sát, a hasznos mikroorganizmusok számát és aktivitását, valamint a kultúr-növények hozamát." (Sulyok és Kádár 1988).

A különbözőképpen műtrágyázott növény genetikai minőségét, életképességét első fokon a vetőmag-tulajdonságokkal is jellemezhetjük. A vetőmag minősége lényegesen befolyásolja a növénytermesztés, rajta keresztül pedig az egész mezőgazdaság teljesítőképességét. Volumene és exportértéke önmagában is tíz-milliárd Ft nagyságrendet tett ki évente. Szántóföldi növényeink nagyobb részét generatív úton magterméssel szaporítjuk. A vetőmag értékét az öröklött tulajdonságok összessége (azaz a fajta), valamint a minősége határozza meg. Utóbbi a csírázóképeségtől, tisztaságtól, az egészségi állapottól, a víztartalomtól, az ezermag- és térfogattömegtől (hektolitersúlytól), valamint az osztályozottságtól függ. A vetőmag minőségét országos szabványok írják elő.

A fejlődő növény tápláltsági állapota, majd a magvak ásványi tápelemkészlete döntően befolyásolhatja e minőségi jellemzőket. Mint a táplálkozástudományban ismeretes, az egyed (növény, állat, ember) korai fejlődési stádiumában bekövetkezett alul- vagy túltáplálása olyan károsodást eredményezhet, amely a későbbiekben nem korrigálható. A nagyobb magvakban több a tartaléktápanyag, mely erőteljesebb kezdeti fejlődést biztosíthat a csíranövénynek. A kezdeti előny nőhet a tenyészidő folyamán. A vízért és a tápanyagokért folyó konkurenciaharcban, a gyomok és kártevők elleni küzdelemben a kiegyensúlyozottan táplált egyedek sikeresebbek.

A mag nagyságának és súlyának értékmérője az ezermagtömeg és a fajsúly. Az ezermagtömeg és a borsónövény teljesítőképessége közötti számszerű összefüggésekről tájékoztat a 10.7 táblázat. Amint a táblázatban látható, az elvetett mag tömegével többé-kevésbé arányosan nőhet a föld feletti hajtás és gyökér tömege, a növény magassága, valamint előnyösen változhat a betakarítható biológiai produkció aránya (Moszolov 1951. In: Kreybig 1953).

10.7 táblázat: Az ezermagtömeg hatása a borsó fejlődésére, Moszolov 1951. nyomán (In: Kreybig 1953)

Ezermag tömeg, g	Föld feletti súly, g/növény	Gyökérsúly g/növény	Föld feletti súly/ gyökérsúly	Szármagasság cm
108	0.59	0.59	1.0	16
177	1.42	0.92	1.5	24
220	1.58	0.98	1.6	27
300	2.84	1.04	2.7	35
401	3.52	1.70	2.1	37
501	4.81	1.98	2.4	48

Saját kísérleteinkben kiterjedt vizsgálatokat folytattunk a növény tápláltsága és a vetőmagminőség számszerűsíthető összefüggéseinek feltárására. A búza szemtermésének nagysága és hektolitersúlya között pozitív laza összefüggést tapasztaltunk korábban minden talajon, minden évben és fajtánál. "Összefoglalva megállapítottuk, hogy a P és K műtrágyázás P és K szegény

talajokon nemcsak a termés mennyiségét, hanem annak egyik minőségi paraméterét, a hektolitersúlyát is javíthatja." (Lásztity és Kádár 1978). Az elmúlt években a sörárpa, olajlen és szója kísérletekben teljeseedett ki ez a munka.

A vetőmag tisztaságát súlyszázalékban adjuk meg és mindazon faj (fajta) azonos magvait értjük alatta, amelyekből normális csíranövények fejlődhetnek. A hulladék %-a magában foglalja vizsgálatainkban elvileg az idegen magvakat, gyommagvakat, pelyvát és egyéb szennyeződést. Idegen gazdasági növények magvai kísérleteinkben gyakorlatilag nem fordulnak elő. A hulladék törött növényi részeket, pelyvát és gyomosodást jelentett. A csíráztatást addig folytat-tuk, míg bírálhatóan minden sor kifejlődött. A csírázóképeséget és a csírázási erélyt a csírázási napok számával is jellemeztük.

A vetőmag értékét annak egészségi állapota befolyásolja. Megállapítottuk ezért az ép, a törött és a beteg csíra (tehát a kelést követően elpusztult csíra), valamint a rothadt csíra (tehát a ki sem kelt) %-os arányát. A csírázóképeség vizsgálatokat a Vetőmagtermeltető és Értékesítő Vállalat Minőségellenőrzési Osz-tályának laboratóriuma végezte dr. Bana Károlyné irányításával, valamint kisebb részben az MTA TAKI kísérleti telepei szolgáltatták.

A meszes csernozjomon beállított NPK tartamkísérletünkben 1987. évben teszteltük az olajlent. Az eredményekről a 4.28 táblázat bemutatása kapcsán számoltunk be. A szemtermés vetőmagvizsgálati paramétereit a 10.8 táblázat foglalja össze. A rothadt csírák aránya mind a N, mind a P ellátással emelkedett és együttes hatásuk eredményeképpen átlagosan megháromszorozódott. Az NxP túlsúly tehát nemcsak a termés mennyiségére volt kifejezetten káros hatással (a magtermést felére csökkentve az optimális kezeléshez viszonyítva), hanem a vetőmag értékmérő tulajdonságaira is. A túltrágyázás által indukált gyomosodás 11 %-ról 23 %-ra növelte a hulladék anyagok átlagos mennyiségét. Tendenciá-jában nőtt a csírázási napok száma, azaz csökkent a csírázási erély is, valamint az ép csíra %-os aránya is romlott.

Az 1988. évi szója kísérletünk néhány eredményét már a 4.30 táblázatban közöltük. Ebben a száraz évben a legnagyobb szemterméseket a 15 éve nem trágyázott kontroll parcella adta. Amint a 10.9 táblázatból látható, a beteg csíra aránya 22 %-ról 35 %-ra emelkedett az együttes PK túlsúly eredményeképpen. Tendenciájában hasonlóan változott a törött csíra %-a is. A rothadt csírák %-át a K túlsúly megduplázta, míg a N bősége felére csökkentette. A NxK negatív köl-csönhatás eredményeképpen 4-25 % közötti extremitások alakulhattak ki. A tápláltság szerepe e tekintetben tehát nem elhanyagolható.

A NxP túltáplálás erősítette a gyomosodást depresszív hatása miatt. Ebből adódóan csökkent a tisztaság %-a, valamint megduplázódott a hulladékanyag aránya. Az ép csírák %-ára a N és a P ellentétes hatást gyakorolt: A P csökken-tette, míg a N növelte az ép csíra előfordulását. A vetőmagjellemzőkre a P-hoz hasonlóan a K trágyázás is negatív hatást gyakorolt (10.10 táblázat).

10.8 táblázat. Műtrágyázás hatása az olajlen vetőmag minőségére (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1987. évi termés alapján)

P-szintek	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	SzD _{5%}	Átlag
Rothadt csíra %-a						
P ₀	1.8	1.3	0.8	1.5	2.3	1.3
P ₁	1.0	0.8	1.8	2.3		1.5
P ₂	2.0	0.6	4.5	1.8		2.2
P ₃	2.3	1.5	2.8	6.3		3.2
Átlag	1.8	1.0	2.4	2.9	1.1	2.0
Hulladékanyag %-a						
P ₀	11	11	15	15	6	13
P ₁	12	12	16	11		13
P ₂	14	13	19	19		16
P ₃	13	14	15	23		16
Átlag	12	12	16	17	3	14
Csírázási napok száma						
P ₀	7.0	4.0	8.0	6.3	2.0	6.3
P ₁	7.0	8.0	7.3	7.0		7.3
P ₂	5.5	8.5	7.0	6.8		6.9
P ₃	4.0	9.0	7.0	7.0		6.8
Átlag	5.9	7.4	7.3	6.8	1.0	6.8
Ép csíra %-a						
P ₀	93	92	96	93	5	93
P ₁	95	93	93	93		94
P ₂	92	94	91	92		92
P ₃	92	95	91	88		92
Átlag	93	94	93	91	3	93

Összefoglalóan megállapítható, hogy a trágyahatások évenként és növényenként változhatnak. Ez a vetőmag minőségére gyakorolt hatásokban is megnyilvánul. A N, P és K ellátás hatásai és kölcsönhatásai összetettek, mert a tápláltság - hozam - gyomosodás - betegségellenállóság - vetőmagminőség együtt jelentkezik, ill. összefüggenek. Az eddigi adatok alapján nem állítható azonban, hogy a műtrágyázás szükségszerűen a növényi genetikai anyag degradációjához vezetne.

10.9 táblázat: Műtrágyázás hatása a szója vetőmag minőségére (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1988. évi termés alapján)

N, P szintek	K ₀	K ₁	K ₂	K ₃	SzD _{5%}	Átlag
Beteg csíra %-a						
P ₀	22	27	25	26	9	25
P ₁	23	33	33	28		29
P ₂	25	28	29	30		29
P ₃	28	30	30	35		31
Átlag	24	29	29	30	4	28
Törött csíra %-a						
P ₀	0.0	1.0	0.7	0.7	-	0.6
P ₁	0.2	0.0	1.5	0.7		0.6
P ₂	0.5	1.0	1.0	0.2		0.9
P ₃	0.7	0.5	2.0	0.7		1.0
Átlag	0.3	0.6	1.3	0.8	-	0.8
Rothadt csíra %-a						
N ₀	14	24	22	25	15	21
N ₁	8	11	14	18		13
N ₂	8	9	13	14		11
N ₃	4	13	17	13		12
Átlag	8	14	17	18	8	14

Megjegyzés: Az SzD_{5%} értékek a sorokra és az oszlopokra azonosak.

10.10 táblázat: Műtrágyázás hatása a szója vetőmag minőségére (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1988. évi termés alapján)

N, P szintek	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	SzD _{5%}	Átlag
Tiszta anyag %-a						
P ₀	96	94	95	95	4	95
P ₁	93	92	93	91		92
P ₂	95	89	92	90		91
P ₃	94	90	92	92		92
Átlag	95	91	93	92	2	93
Hulladék anyag %-a						
P ₀	3.8	6.1	5.4	5.1	4	5.1
P ₁	6.6	8.4	6.7	8.8		7.6
P ₂	5.4	11.4	8.2	10.1		8.8
P ₃	5.6	10.0	8.2	8.5		8.1
Átlag	5.3	9.0	7.1	8.1	2	7.4
Ép csíra %-a						
P ₀	56	62	69	60	18	62
P ₁	44	62	30	64		58
P ₂	47	58	57	60		55
P ₃	44	55	52	57		52
K ₀	60	69	69	69	18	67
K ₁	44	60	58	61		56
K ₂	45	58	53	56		53
K ₃	43	52	56	56		52
Átlag	48	59	59	60	9	57

Megjegyzés: Az SzD_{5%} értékek a sorokra és az oszlopokra azonosak.

10.9 Megjegyzések a gazdálkodás energiamérlegének megítéléséhez

Az energiaválság már a 70-es évek elején felszínre hozott néhány lappangó problémát, amely a mezőgazdaságot is érintette. Az energiapocsékolás mindenképpen környezetterhelést eredményez, jogos az alternatív gazdálkodás törekvése, hogy a mezőgazdaság energiaéhségét csökkentse. Hazánkban elsőként Györffy (1975) becsülte meg a 70-es években ajánlott és alkalmazott kukoricatermesztési rendszerek energiamérlegét. A szerző megállapította, hogy elsősorban a racionális műtrágyafelhasználással, valamint a műveléssel takarékoskodhatunk, amennyiben a legnagyobb energiaszükségletet e tételek jelentik mintegy 65 %-kal.

Az intenzív kukoricatermesztés energiamérlege pozitívnak mutatkozott 2.2 hányadossal és közel állt a hasonló technológiát alkalmazó külföldi országok adataihoz. A növénytermelés többi ágazatai összességében kevésbé energiaigényes rendszert folytattak, így valószínűsíthető volt, hogy a növénytermelés egésze erősebben pozitív, 2-5 közötti hányadossal. Utóbb Debreczeni (1987) részletes számításaival igazolta, hogy növénytermesztésünk energiatermelése meghaladja az összes energiafelhasználást a 70-80-as években. Hasonló következtetésre jutott Akócsi et al. (1978).

Az idevágó fontosabb irodalmi források kritikai elemzése alapján szükségesnek tartjuk az alábbi szempontokat kiemelni a mezőgazdaság energiamérlegének megítélésében (Pimentel 1973, Rusch 1974, Györffy 1975, Szabolcs 1975, Pimentel és Pimentel 1979, Stout et al. 1979, Anonym 1980, Cast 1984, Todd 1985, Buchner és Sturm 1985, Debreczeni 1987).

1. Az elsődleges növénytermesztés energiamérlegének pozitívumát az állattenyésztés eltüntetheti, amennyiben túlnyomóan nem a legeltetésen alapul. A mezőgazdaság egészének mérlege a fejlett országok egy részében már enyhén negatív. Magyarország növénytermesztő túlsúllyal rendelkező mezőgazdaságában inkább a fordított helyzet állandósulhat.
2. Az élelmiszertermelés egésze negatív mérleggel zárul. Az ipari fejlődéssel párhuzamosan ez a negatívum mindeddig gyorsuló ütemben nőtt. Az elsődleges mezőgazdasági termelés (növénytermesztés+állattenyésztés) részaránya ui. csökkenő, mert a feldolgozás-forgalmazás-háztartási előkészítés egyre több energiát igényel. Az USA-ban pl. ez a hányad már a 70-80-as években az energia 5/6-át jelentette.
3. A biogazdálkodás egyes képviselői energiamérlegekre szűkítik le a különböző gazdálkodási módok megítélését. Az előállított élelmiszerek értéke azonban nem fejezhető ki pusztán energiatartalmukkal, mert a felhasználásuk során tápértékük (fehérjék, nélkülözhetetlen vitaminok és ásványi elemek hordozói) szabja meg jelentőségüket. Ilyen módon az állattenyésztés is más megvilágításba kerül, mert az állatok nagyrészt az ember számára emészthetetlen anyagokból készítenek nagyértékű élelmiszereket. (Amennyiben legeltető állattartás dominál).
4. Az energiafajták társadalmi hasznossága eltérő. A 70-es években pl. a természetes földgáz piaci értéke (összevetve az azonos mennyiségű mechanikai energia vagy az emberi izommunka, ill. az élelmiszerek értékével) több nagyságrenddel olcsóbb volt.

5. Valójában egész életmódunk válik egyre energiaigényesebbé. A fejlettebb nyugati országokban az egész élelmiszertermelés energiafelhasználása mindössze 10-15 % körüli az országosból. A mezőgazdasági áruterelés részese-e ezen belül alig néhány %-ot tesz ki. A mezőgazdaság funkciója nem az energiatermelés, hanem az élelmiszerek előállítása. Az energiaátalakítás egyik leghasznosabb formáját valósítja meg, amennyiben olcsó (?) ipari energiával drága élelmiszert termel.
6. A növénytermelés hasznosítja a nap energiáját a fotoszintézis során. Ennek az energiának egy része nemcsak az élelmiszerekben, hanem a talajban is felhalmozódik és tárolódik. A talaj humuszanyagaiban, irodalmi becslések szerint, az élő fitomasszával azonos mennyiségű vagy annál is több energia van. A humuszanyagok energiatartalmát a lebontó lánc mikroorganizmusain kívül más szervezetek azonban nem képesek hasznosítani. A talaj, mint ökoszisztéma funkciója szempontjából a humusz jelentőségét nem energiatartalma, hanem az anyag- (tápelem) forgalom szabályozásában betöltött szerepe alapján célszerű megítélni.
7. A humuszanyagok energiatartalma nem vethető össze az élelmiszerek, kőolaj, földgáz stb. értékével a társadalmi hasznosság alapján. A humusz energia-készletének nincs lényegében közvetlen társadalmi, csupán természeti (talajtani, ökológiai) hasznossága. Utóbbi viszont lényeges az egész bioszféra működése szempontjából.
8. A talaj energiagazdálkodása szempontjából az ásványi komponensek vizsgálatára kellene nagyobb súlyt fektetnünk. A napenergia nagyobb részét arra használja a növény, hogy a fotoszintézis során a vizet felbontsa és az ásványi elemeket asszimilálja. Energetikai szempontból is a tápelemfelvétel során játszik fontosabb szerepet a talaj szerves anyaga, amennyiben a biogén elemek felvételét mikrobiális közreműködéssel befolyásolja.
9. Megjegyezzük, nem szorosan a témához kapcsolódva, hogy a talajban lezajló folyamatok lehetnek endogén vagy exogén jellegűek, tehát energiát igényelnek vagy energiatermelők. Leegyszerűsítve minden visszavezethető a kémiai kötések energiájára. A gazdálkodás során az egyes beavatkozások, mint a művelés, műtrágyázás stb. energia közlését is jelentik. A hidegebb és kötött talajokon a művelés célja lehet a hőközlés, azaz pl. talajlazítással és szellőztetéssel meggyorsítani az ásványosodás folyamatait. A vízforgalom is energetikai alapon vizsgálható.
10. A szerves anyagok lebontásakor nemcsak ásványi elemek szabadulnak fel, hanem hő is keletkezik. A humuszanyagok potenciális energiát képeznek, melyet az ember műveléssel és ugarolással hosszú évszázadokon át hasznosított. Jelenlegi viszonyaink között azonban az elsődleges növénytermelés produktíváját, energiatermelését alapvetően az ásványi tápelemekkel való ellátás limitálja.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy fejlődésünk jelenlegi körülményei között sem az egyoldalúan kemizált, sem az egyoldalúan műtrágya ellenes "biológiai" gazdálkodásnak nincs perspektívája. Csak a fenntartó és az ökológiai ismeretekre épülő megközelítésnek van realitása. Bár Todd (1985) már azt az utat keresi, amikor nemcsak a fejlett mezőgazdaság, hanem az élelmiszergazdaság egésze, sőt a teljes energiamérlegünk egyensúlyba kerül, amikor a fenntartó fejlődés megvalósul az egész Földön. Mindez nem teljesen utópia, hiszen a természetes megújuló energiaforrások szinte kimeríthetetlenek. A nap (radiáció), a levegő (szél), a víz (ár-apály, folyamok), a Föld (geotermikus) energiát szolgáltat, amely a megfelelő technológia kifejlesztésével hasznosíthatóvá válik. Ezek a rendszerek helyenként még ma is életképesek és fokozatosan terjednek mind a fejlődő, mind a fejlett országokban.

A mezőgazdaság döntően a napfény energiáját használja majd a jövőben is szárazanyag-termelésre. A hagyományos módon, tehát a növénytermelésen keresztül, ahogy azt Boussingault érzékeltette egy vetésforgó elemmérlege kapcsán a múlt század első felében (10.11 táblázat). A rendkívül energiaigényes ipari N-kötés egy részét újra helyettesítjük majd a biológiai N-kötéssel (Kurtz et al. 1984), melyre a megfelelő vetésforgó pl. lehetőséget nyújthat (10.12 táblázat). Arra a kérdésre, vajon megengedhetjük-e magunknak a fenntartó mezőgazdaságot, Larry D. King válaszával felelhetünk: "Talán semmi más formája a gazdálkodásnak nem engedhető meg a jövőben".

10.11 táblázat: Egy vetésforgó elemmérlege Boussingault (1834) szerint, kg/ha, (In: Russel 1950)

Növény-faj	Száraz anyag	Szén (C)	Hidrogén (H)	Oxigén (O)	Nitrogén (N)	Ásványi anyag
Répa	3172	1358	184	1377	54	200
Búza	3006	1432	164	1215	31	164
Here (széna)	4029	1910	202	1523	85	310
Búza	4208	2004	230	1701	44	229
Tarlórépa másodvetés	716	207	39	303	12	54
Zab	2347	1182	137	891	28	108
Összesen a forgóban	17478	8193	956	7009	254	1066
Bevitt trágyával	10161	3638	427	2622	203	3272
Különbség a levegőből, esővel vagy talajból	+7317	+4555	+530	+4388	+51	-2206

A C, H, O, ill. a szárazanyag kevés volt a trágyában, tehát a levegőből, vízből vagy a talajból származhatott (Boussingault következtetése)

10.12 táblázat: Különböző vetésforgók N mérlege, kg/ha, Boussingault (1834) szerint (In: Russel 1950)

Forgó növényi termésben sorrendje	Nitrogén a		N-többlet a	
	trágyában	termésben	rotációban	évente
I. Burgonya, búza, here, búza, tarlórépa másodvetés, zab	203	251	48	10
II. Répa, búza, here, búza, tarlórépa másodvetés, zab	202	254	51	10
III. Burgonya, búza, here, búza, tarlórépa másodvet., bab, rozs, Csicsóka 2 éven át	244 188	354 274	110 86	18 43
IV. Trágyázott ugar, búza, búza Lucerna 3 éven át	83 224	87 1078	5 854	1 171

A legnagyobb terméseket tehát a pillangós forgók adják. A nitrogén közvetlenül bekerülhet a növény szervezetébe a levegőből, amennyiben a zöld részei képesek megkötni. (Boussingault következtetése)

10.10 Irodalom

- AKÓCSI, B. - BALOGH, S. - NAGY, B. (1978): Mezőgazdaságunk fejlesztése az anyag- és energiafelhasználás hatékonyságának tükrében. Gazdálkodás. 22:17-32.
- ANONYM (1980): Report and recommendations on organic farming. US Government Printing Office. USDA. Washington, D.C.
- ANTAL, J. - EGERSEGI, S. - PENYIGEL, D. (1966): Növénytermesztés homokon. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest
- ÁNGYÁN, J. - MENYHÉRT, Z. (1988): Integrált alkalmazkodó növénytermesztés. GATE-KSZE. Gödöllő-Szekszárd.
- BAUER, F. (1976): Növénytermesztés és tápanyaggazdálkodás Duna-Tisza közti homoktalajon. Doktori értekezés Tézisei. MTA TMB. Kecskemét.
- BERGMANN, W. (1979): Termesztett növényeink táplálkozási zavarainak előfordulása és felismerése. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- BÓCSA, I. (Szerk. 1979): A lucerna termesztése. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- BOKORI, J. - FEKETE, S. - TÖLGYESI, GY. (1981): A takarmány cinktartalmának hatása a broilercsirkék súlygyarapodására, takarmány-értékesítésére és néhány szervének cink koncentrációjára. Magyar Állatorvosok Lapja. 36:51-56.

- BUCHNER, A. - STURM, H. (1985): Gezielter düngen: intensivwirtschaftlich-umweltbezogen. DLG Verlag. Frankfurt am Main. BLV Verlag. München.
- CAST (1984): Energie use and production in Agriculture. CAST report N. 99. Ames. Iowa. USA
- CEAUSESCU, I. - Ionescu, A. (Szerk: 1980): Mezőgazdasági termelés és környezetvédelem. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- CSERHÁTI, S. - KOSUTÁNY, T. (1887): A trágyázás alapelvei. Országos Gazdasági Egyesület Könyvkiadó. Budapest.
- CSERHÁTI, S. (1905): Általános növénytermelés. Második kiadás. Eggenberger féle könyvkereskedés. Budapest.
- DEBRECZENI, I. (1987): Néhány fontosabb szántóföldi növény termesztésével kapcsolatos energetikai mérés eredménye. Növénytermelés. 36:359-366.
- DVORACEK, M. (1986): A napraforgó műtrágyázása és a jövedelmezőség az OTK kísérletek tükrében. In: Jövedelmezőbb napraforgótermesztés. MÉM Mérnök- és Vezetőtovábbképző Intézet. 109-127. Budapest.
- DVORACEK, M. - LUKÁCS, Dné (1989): Napraforgó műtrágyázási tapasztalatok az OMT kísérletekben. Agrokémia és Talajtan. 38:455-461.
- FRANCIS, CH. A. - FLORA, C.B. - KING, L.D. (1990): Sustainable agriculture in temperate zones. John Wiley and Sons. Inc. New York.
- GRÁBNER, E. (1956): Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- GYÖRFFY, B. (1976): A kukorica termésére ható növénytermesztési tényezők értékelése. Agrártud. Közlem. 35:239-266.
- GYÖRI, D. (1984): A talaj termékenysége. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- HARMATI, I. (1989): Adatok a napraforgó műtrágyázásához. Agrokémia és Talajtan. 39:207-212.
- HARRACH, T. (1992): Környezetvédelmi problémák a nyugat-európai mezőgazdaságban. A környezetet nem károsító gazdálkodás kritériumai. Kézirat. MTA TAKI. Budapest.
- KÁDÁR, I. (1986): A napraforgó tápanyaggazdálkodása. In: Jövedelmezőbb napraforgótermesztés. MÉM Mérnök- és Vezetőtovábbképző Intézet és a NMV Kiadványa. 97-108. Budapest.
- KÁDÁR, I. - VASS, E. (1988): Napraforgó műtrágyázása és meszezése savanyú homoktalajon. Agrokémia és Talajtan. 37:541-547.
- KÁDÁR, I. (1988): Túltrágyázzuk-e a napraforgót? Agrokémia és Talajtan. 38:441-447.
- KÁDÁR, I. - MAZSOLÁN, I. (1989): Műtrágyahatások elemzése nyírségi savanyú homoktalajon, különös tekintettel a környezet védelmére. Környezetgazdálkodási Kutatások. I. 57-64. Budapest.
- KING, L.D. (1990): Sustainable soil fertility practices. In: Sustainable Agriculture in Temperate Zones. 144-177. Szerk.: Francis, Ch.A. - Flora, C.B. - King, L.D.J. Wiley and Sons Inc. New York.
- KILÉNYI, G. (1979): A környezetvédelem a jogalkotásban és a jogtudományi kutatásban. Magyar Tudomány. 2:129-138.

- KIRÁLY, Z. (1985):Balancing chemical and nonchemical methods to manage plant diseases, pests and weeds. *Agrokémia és Talajtan.* 34:156-164. Supplementum.
- KREYBIG, L. (1953):Az agrotechnika tényezői és irányelvei. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- KREYBIG, L. (1955):Trágyázástan. A talajélőlények és növények okszerű táplálásának irányelvei.Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- KREYBIG, L. (1956):Az agrotechnika tényezői és irányelvei. Második bővített kiadás.Akadémiai Kiadó. Budapest.
- KURTZ, L.T. - BOONE, L.V. - PECK, T.R. - HOEFT, F.G. (1984):Crop Rotations for Efficient Nitrogen Use. In: Nitrogen in Crop Production. 295-306. ASA-CSSA-SSSA Publ. Madison. Wisc. USA.
- LÁNG, G. (1976):Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- LÁNG, I. - CSETE, L. - HARNOS, Zs. (1983):A magyar mezőgazdaság agro-ökológiai potenciálja az ezredfordulón.Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- LÁSZTITY, B. - KÁDÁR, I. (1978):A műtrágyázás, termés és a hektolitersúly összefüggése őszi búzánál. Növénytermelés. 27:175.180.
- LUKÁCS, Dné (1988):A napraforgó olajtartalmának alakulása az ország különböző tájegységein. In: Minőség, hatékonyság, jövedelmezőség III. A Magyar Mezőgazdaság melléklete. 1988. aug. 7-10.
- MADAS, A. (1985):Crop nutrient supply in a sustainable agriculture.Agrokémia és Talajtan. 34:165-169. Supplementum.
- MADAS, A. (1985):Ésszerű környezetgazdálkodás a mezőgazdaságban. (Iparosodó Mezőgazdaság sorozat) Közgazd. Kiadó. Budapest.
- OKIGBO, B.N. (1991):Development of Sustainable Agricultural Production systems in Africa. Intern. Institute of Tropical Agriculture. Ibadon. Nigeria.
- PIMENTEL, D. (1973):Food production and the energy crisis. Science. 182:443-450.
- PIMENTEL, D. - PIMENTEL, M. (1979):Food, energy and society. E. Arnold Publ. Ltd. London.
- PRATT, P.F. (1984):Nitrogen use and nitrate leaching in irrigated agriculture. Nitrogen in crop production. ASA-CSSA-SSSA Publication. 319-33. Madison. Wisc.
- RÉGIUSNÉ MÖCSÉNYI, Á. (1980):Anyajuhok ásványianyag-ellátottsága. Állattenyésztés. 29:275-286.
- RUSCH, H.P. (1974):Bodenfruchtbarkeit. Eine Studie biologischen Denkens.Haug Verlag. Heidelberg.
- RUSSEL, E.J. (1950):Soil conditions and plant growth. VIIIth Edition.Rewritten by E.W. Russel. London - New York - Toronto
- SARKADI, J. (1975):A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- SARKADI, J. - VÁRALLYAY, Gy. (1989):Advisory System for Mineral Fertilization Based on Large-Scale-Site Maps. Agrokémia és Talajtan. 38:775.789. Supplementum.
- SÁRKÖZI, P. (1986):Biogazdálkodás szántóföldön. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

- 'SIGMOND, E. (1904):Mezőgazdasági Chémia. Term. Tud. Társulat. Budapest.
- STAUB, H.A. (1983):Választó előtt a mezőgazdaság. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- STOUT, B.A. - MYERS. C.A. - HURAND, A. - FAIOLEY, L.W. (1979):Energy for world Agriculture. FAO Agriculture Series N.7. Rome.
- SULYOK, L. - KÁDÁR, I. (1988):A műtrágyázás hatása a talaj biológiai aktivitására és kapcsolata a növényi táp-elemfelvétellel. Növénytermelés. 37:53-60.
- SZABÓ, I. (1986):Költségtakarékos üzemi műtrágyázási tapasztalatok vetésforgóban, a váli "Vajda János" termelőszövetkezetben. In: Jövedelmezőbb napraforgótermesztés. MÉM Mérnök- és Vezetőtovábbképző Intézet. 133-150. Budapest.
- SZABÓ, L. (1975):Környezetvédelem a Mezőgazdasági és Élelmiszerügyi Minisztérium V. ötéves tervében. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Szabó, L. (1983):Az intenzív búzatermelési rendszer környezetvédelmi problémái. Kandidátusi értekezés tézisei. MTA TMB. Budapest.
- SZABÓ, I.M. (1986):Az általános talajtan biológiai alapjai. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- SZABOLCS, I. (1975):A talajképződés anyag- és energiaforgalma. MTA X. Oszt. Közleményei. 8/3-4. 321-332.
- SZABOLCS, I. - VÁRALLYAY, Gy. (1978):A talaj termékenységet gátló tényezők Magyarországon.Agrokémia és Talajtan. 27:181-202.
- SZEMES, I. (1983):Magyarország homokterületeinek környezet- és természetvédelmi problémái. In: Tanulmányok a homokhasznosításról. 383-393. Westsik Vilmos tud. emlékülés. Nyíregyháza.
- SZÉCSI, Á. - KÁDÁR, I. - SZÁNTÓ, M. (1989):Endomikorrhiza gombák izolálása kukorica alól csernozjom talajon.Agrokémia és Talajtan. 38:429-440.
- TOOD, S. (1985):Ecologically based culture of foods: its systems and technologies.Agrokémia és Talajtan. 34. 181-196. Supplementum.
- TÖLGYESI, Gy. (1969):A növények mikroelem tartalma és ennek mezőgazdasági vonatkozásai. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- TÖLGYESI, Gy. (1975):A mikroelem ellátottság hatása az állatok egészségére, ennek közegészségügyi és környezetvédelmi vonatkozásai. MÉM Környezetvéd. Kut. 427-432.
- VÁRALLYAY, Gy. (1989):Soil degradation processes and their control in Hungary.Land Degradation and Rehabilitation 1:171-188.
- VÁRALLYAY, Gy. (1990):Environmental problems of soils and land use in Hungary.Proceedings from Seminar. Rapport. N. 51. 129-168.
- VÁRALLYAY, Gy. - BUZÁS, I. - KÁDÁR, I. - NÉMETH, T. (1990):New plant nutrition advisory system in Hungary. Proceedings from Seminar. Rapport. N. 51. 88-110. Kungl. Skogs-Och Lantbruksakademien.
- VESTER, F. (1982):Az életben maradás programja. Gondolat Kiadó. Budapest.
- VOISIN, A. (1965):Fertilizer application. Soil, plant, animal. Crosby Lockwood. London.
- WESTSIK, V. (1965):Vetésforgókísérletek homoktalajon. Akadémiai Kiadó. Budapest.

FOREWORD

*This book is dedicated to all those scientists,
whose diligence and enthusiasm created the
science of plant nutrition.*

There are a great number of monographs written in foreign languages and dealing with some or the other field of plant nutrition. These works, beyond the fact that they do not give an overall view of the discussed subject, are not prepared for the Hungarian reader. For the adaptation of results and experiences obtained under other circumstances, active research performed in Hungary is needed.

While presenting the basic principles and methods related to plant nutrition, the author refers to the major questions which appear to have motivated researchers in the past. The scientist who focusses exclusively upon contemporary research, while neglecting the historical roots of his subject, does so at the risk of "discovering the wheel". More importantly, there is no better way for the reader to develop ability of judgement and criticism, while learning the subject matter, than by studying the experiments and interpretations of our scientific forerunners. Hungarian literature in plant nutrition and soil science is extraordinarily rich and the Author relied upon this national treasure.

In addition to historical approach, he also strives to reveal a broader background of the phenomena. The plant is a similar creature as man is. It needs - alike to man - air, water, sunlight, etc. Plant and man are also connected by the food chain. Man consumes plant food and after his death, when he becomes "dust and ashes", he serves as food for the plants. All living organisms, of which man is only one, are related to and dependent on each other. Our environment is one and the same: the air we breathe, the water we drink and the land and sea on or within which we live.

Our predecessors studied the soil, the plant, the animal, as well as the water and the air as a whole. They considered the biosphere in its entirety, even if they did not use this term for it. Environmental pollution of our days obliges us again to see the world as a whole, and the phenomena should be regarded in their complexity, as they appear in nature. As a matter of fact, we know more and more about less and less. More about certain sections of field, while the sections diminish continually. This is a dangerous situation because one is not aware of the consequences of his actions.

Perhaps, long-term ecological approach and interdisciplinary research may appear as an alternative. Research, teaching and extension work should not be separated into atomized fields. Land is no longer the major production tool. The productivity of the land now depends upon the skill and knowledge with which

capital is applied. A farmer can only hope to use fertilizers sensibly if he understands how they work. Sound fertilizer usage is a science in itself. Given recommendations are not to be taken as precise but to serve as a base from which, with the aid of experience under local conditions, the reader will be able to use fertilizer with confidence. A fundamental concept of sustainable farming, related to fertilizer use, is developed in this book.

Author found great pleasure in conducting research in the field of plant nutrition during the last 25 years. He strives to share his experiences with the reader, to demonstrate experimental data, methods and procedures. He strives to formulate the main conclusions in the clearest way easy to understand for everybody. He relies mainly upon his own and his co-workers experiments and on data, which are best known for him in details and are held by him for authentic.

Author have become acquainted with several contemporary research workers throughout the world. Many new ideas learned from W. Bergmann, P. Neubert (Germany); Steineck (Austria); V.V. Cerling, V.G. Mineev, P.A. Vlaszjuk (Soviet Union); J. Baier, Z. Bedrna (Czechoslovakia); H.D. Chapman, P.F. Pratt, A. Page (Riverside, USA); T. Peck, T. Kurtz (Urbana, USA). He studied the irrigation agriculture in Middle-Asia, N-Korea and California; tropical agriculture in Mexico, Cuba and Hawaii; the arctic areas of Scandinavia and Alaska, the large-scale and small-scale farming systems in the temperate zone of Eastern and Western Europe, as well as in the USA.

In many respects, this book is the result of a collective effort within the Department for Agrochemistry and Plant Nutrition, Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry. Grateful acknowledgements are due to Dr. J. Sarkadi and Dr. H. Balla for reading and revising, to Dr. P. Csathó for critical remarks, to Dr. N. Pintér for her careful typing and editing work. Special thanks to J. Koncz, and to the staff both of the laboratory and the field experimental stations for their continuous effort. English summary prepared by Dr. B. Thamm.

The book is intended for university students and anybody with an interest in agriculture, plant nutrition, environmental management and protection. Some familiarity with plant and soil sciences as well an environmental topics would facilitate the reading. All critical remarks and comments will be accepted by the Author as professional input.

Budapest, April 1992.

IMRE KÁDÁR

TABLES

- 1.1 Yield of cereals (t/ha), fertilizer use ($N + P_2O_5 + K_2O$ kg/ha arable land), mechanization (number of tractors per 1000 ha) and density of population (persons/km²) between the two world wars in the Netherlands, Belgium, Germany, USA. In: Prjanisnyikov (1945)
- 1.2 Crop removal of soil nutrients during a 4 year rotation in different farming practices:
 - Ley (migrated) farming in early periods
 - Fallow farming in Hungary at Előszállás
 - Crop rotation at Rothamsted in the XIX. century
 - Crop rotation at Magyaróvár in Hungary
 - State farms in Hungary in the years 1970-1975
 - Modern market oriented crop rotation in England
 - State farms in Hungary around 2000
- 2.1 Period of rice cultivation (Age of the polder in years and the available nutrient and humus content in the ploughed layer of a sandy loam. Humus in %, nutrients in mg/kg. (Date of the N-Korean Research Institute for Soil Science, Phenjan 1987)
- 2.2 Period of rice cultivation (in years) and the humus and available (upper part ammonlactate-soluble, deeper part of the table 1:5 water extracted) element content in plough-layer. Humus in %, AL-soluble PK in mg/kg, EC meq/100 g soil.
Sampling: KAND SEK HYON, Geographical Institute, Phenjan 1987. Analysis: Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry, Budapest
- 2.3 Effect of N-fertilization on rice yield. New polder, not long cultivated before. Grain yield t/ha, yield increase in t/ha and %.
(Data of the N-Korean Research Institute for Soil Science, Phenjan, 1987)
- 3.1 Effect of NxP nutrition on the occurrence of soybean nodules. Field experiment. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, piece/20 plants, 27.06.1988. LSD 5% (SzD 5%), Mean (Átlag). 0 = poorly, 1 = medium, 2 = well, 3 = oversupplied.
- 3.2 Nutrient demand of winter wheat needed for a unit of grain (1 t grain + straw), given in the literature and ranked with the increasing N content.
- 3.3 Nutrient demand of corn needed for 1 t grain (together with above ground parts), given in the literature and ranked with the increasing N content.
- 3.4 Nutrient uptake (demand) of different crops in kg for 1 t main product with its above ground portion. In case of juicy crops (lines 8, 12, 13, 14, 15, 20, 21) given for 10 t main products with their above ground parts.
Crops: wheat, rye, barley, oat, corn, peas and beans, sugar beet, fibre hemp and flax, tobacco, oil crops, potatoes, vegetables, silage maize, turnip, hay of annual plants, hay of perennial plants, meadow hay, pasture hay, grapes,

- fruits. Literature references in pieces. N content: minimum-maximum, estimated average (P_2O_5 and K_2O content the same).
- 3.5 Estimated uptake of N, P_2O_5 , K_2O in Hungary by different crops in 1971 and 1975. Agricultural area. Cultivated crops: see above. Main products in 1000 t. N, P_2O_5 , K_2O kg/t main product unit (See table 3.4). N, P_2O_5 , K_2O 1000 t in 1971 and 1975 removal from about 6 million ha agricultural land.
 - 3.6 Estimated nutrient balance of Hungary in 1971 and 1975 given in 1000 t and kg/hectare. Össz.=Total. Items of the balance: Uptake by crops (first line), Returned: by FYM, by maize stalks, by fertilizers, total, balance sheet. Intensity of return in % (with and without maize stalks).
 - 3.7 Estimated nutrient balance of Hungarian agriculture in 1932-36 and 1960-64. Agricultural area. Explanations see Table 3.6
 - 3.8 Estimated crop removal of nutrients by different crops in Hungary in 1984. Agricultural area. Cultivated crops see Table 3.4. Cultivated area in 1000 ha and %. Main product harvested in 1000 t. N, P_2O_5 , K_2O kg/t main product with its above ground parts (See Table 3.4). Uptake in 1000 t N, P_2O_5 , K_2O . Total removal N + P_2O_5 + K_2O in 1000 t and %.
 - 3.9 NPK-balance of Hungary in 1984 given in 1000 t and kg/ha agricultural area. Items of the balance: uptake by crops (first line). Returned: by maize stalks, sunflower stalks, 1/3 of wheat straw, FYM, legume crops, total organic origin. Returned in all, balance sheet.
 - 3.10 NPK-balance in Hungarian agriculture from the 30ies (and from the beginning of this century) to 1984. Agricultural area, kg/ha. Taken up by crops (first line), returned by organic manures, returned by mineral fertilizers, returned in all, balance sheet.
 - 3.11 Estimated N, P and K supply of cultivated soils in Hungary, given in % of the investigated area in the years 1900-1985. Period (years), poor, medium, satisfactory, high, note (Author's estimate = saját becslés). P-supply, K-supply, N-supply.
 - 3.12 Nutrient balance of Germany from 1878/80 to 1964/66 according to Gericke (1967). Agricultural area, kg/ha. Years, Uptaken (Felvett), Returned (Visszapótolt), Total (Össz.), Balance (Mérleg), Returned in %.
 - 3.13 Nutrient balance of Austria between 1937 and 1973. Agricultural area, kg/ha. Uptaken by crops (first line), Returned by: FYM, liquid manure, total, mineral fertilizers, in all. Balance, intensity of return in %.
 - 3.14 NPK-balance of Austria and Hungary compared. Agricultural area, kg/ha. Country: Austria, Hungary. Years. Uptaken by crops (first line), returned by mineral fertilizers, organic manures, total returned, balance, returned in %.
 - 3.15 K-supply of soils and yield, quality and profitability of potato growing in Germany. Survey of LUFA in the years 1978 and 1979. (Köster et al. 1988)
 - 3.16 Trends in fertilizer use in some European countries. Agricultural area, N + P_2O_5 + K_2O kg/ha. Countries: Austria, Belgium-Luxemburg, Bulgaria, Czechoslovakia, Denmark, UK, France, the Netherlands, Yugoslavia, Poland, Hungary, GDR, FRG, Italy, Rumania, Switzerland.
 - 3.17 Amounts of used N + P_2O_5 + K_2O fertilizers accounted for agricultural area and arable land compared in some European countries in 1984. Pocket-book

of Agricultural Statistics 1985. Countries: see Table 3.16. Agricultural area 1000 ha. Arable land 1000 ha. Grassland 1000 ha and %. Total N + P₂O₅ + K₂O fertilizer use 1000 t, N + P₂O₅ + K₂O fertilizer use kg/ha accounted for arable land (Művelt), total agricultural area (Hasznosított), total in % of arable (Művelt %-ában).

- 3.18 Fertilizer use and NPK-balance in different regions of Austria depending on the types of land use and farming. Agricultural area, 1973. Characteristics, Name of the countries (first line), land or regions: Tyrol, Styria, Lower Austria, Upper Austria, Burgenland. Lower Austria. In % of the total agricultural area: cereals, ploughland, arable-land. N + P₂O₅ + K₂O total kg/ha in yield, fertilizers, organic manure, manure in all, balance, Returned in %. Animal unit piece/ha accounted for total area and arable land. Ratio of organic manure nutrient in % of total NPK given.
- 3.19 Left: Fertilizer use and ploughland relationship in different regions. Total agricultural area, 1973. $y = P_2O_5 + K_2O$ kg/ha. $x =$ ploughland in %. Right: Returned nutrient and arable land relationship in different regions. Total agricultural area, 1973. $x =$ returned N + P₂O₅ + K₂O in % of uptaken. $x =$ arable land in %.
- 3.20 Fertilizer use and the ratio of cereals (density) relationship. Austria, 1973. $y =$ % of cereals in total area. $x =$ N + P₂O₅ + K₂O kg/ha applied mineral fertilizer.
- 4.1 Fertilizer responses in early field experiments in Hungary according to Várallyay (1950). Soil types: acid forest soils, acid sandy soils, alluvial soils in the Danube valley, calcareous sandy soils, calcareous loamy soils, mean. P-effect in %, K-effect in %, N-effect in %. Mean (Átlagos). Under the estimated limit value of "satisfactory" supplied (H.É.A.)
- 4.2 Interpretation of soil analysis data according to Várallyay (1954). Soil types: see Table 4.1. Number of field trials. Satisfactory level in plough layer determined with DL-method (lactate-soluble), ppm. DL-K₂O limit values given separately for cereals and row crops. Last column: P-fixation capacity of soil (From 20 ppm P given to the soil, after incubation remained in DL-soluble P form, ppm).
- 4.3 Effect of fertilization on pH, humus and available nutrient content in plough layer after 21 years. Acid sandy brown forest soil. State Farm at Nyírlugos, Hungary, 1983. Long-term field trial.
Treatments (first line), pH(KCl), Humus %, Ammonlactate-soluble P₂O₅ and K₂O, EDTA-Zn, mg/kg soil. LSD 5% (SzD₅%). Note: applied N, P, K, Ca, Mg in kg/ha/yr.
- 4.4 Effect of fertilization on the yield and quality of sunflower. Acid sandy brown forest soil, Nyírlugos, 1984. (In: Kádár and Vass 1988).
Field experiment. Treatments (first line), number of plants piece/plot, plant height in cm, diameter of heads in cm, mass of seeds kg/ha, oil content in %, oil yield kg/ha and %.
- 4.5 Effect of moderate P-fertilization on crop and soil. Long-term field trial, calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1961-1969.

- Given P_2O_5 in 8 years kg/ha, Grain yield t/ha/4 years (corn 1962-65, wheat 1966-69). Uptaken P_2O_5 kg/ha in 1969, P_2O_5 balance kg/ha in 1969, AL- P_2O_5 (ammonlactate-soluble) mg/kg in 1969.
- 4.6 Accumulation of the available P-content in the plough layer. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, AL- P_2O_5 mg/kg soil. Field trial. "Old" P_2O_5 mg/kg given in 1961-69. "Fresh" P_2O_5 given in 1970-72 kg/ha. Upper part in the mean of the years 1970-71, lower part: mean of 1972-73.
- 4.7 P-supply of the soil (old-P treatment) and P-effectiveness (fresh-P treatment) relationship. Long-term field trial. Winter wheat monoculture, grain yield t/ha, 3rd rotation. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1970-73. (In: Kádár 1978).
 Explanations: See Table 4.6. ^{xx} Note: average marginal effectiveness of fresh P, i.e. grain yield surplus obtained by 1 kg P_2O_5 fresh applied.
- 4.8 Estimation of the limit values for P-supply in a calcareous chernozem soil (In: Kádár 1978).
 Soil characteristics and grain yield (AL- P_2O_5 , Olsen- P_2O_5 , wheat yield t/ha), P-supply of the plough layer (poor, medium, satisfactory); alatt (under), felett (over).
- 4.9 Design of the long-term P-trial, 1972-1990. (In: Kádár 1978). P_2O_5 kg/ha in 1972 (Build-up P-levels), fresh-P kg/ha given in 1974-1990, yearly doses. Year of application (Bevitel éve). Bottom note: The 9 build-up treatments had 12 replicates each so the total number of plots amounted to 108.
- 4.10 After-effect of P-fertilization in the 18-year old field experiment. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1973-1990. Grain yields of two years t/ha.
- 4.11 Old and fresh P-fertilization effects compared within the same P-balance range of the soil. Mean grain surpluses of two years. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1973-1990d. (In: Kádár and Csathó 1991).
 Age of fresh-P in years, age of old-P in years, year and crop of the experiment, grain yield surpluses t/ha fresh-P and old-P, fresh-P effect taken for 100 and old-P in % of fresh-P.
- 4.12 Treatments of the long-term field trial and ammonium lactate-soluble PK-content in the plough layer. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök. (In: Kádár 1978).
 NPK-supply: 0 = poor, 1 = medium, 2 = satisfactory, 3 = high or toxic. P_2O_5 and K_2O given in 1973 as build-up levels, N given yearly as 0, 100, 200, 300 kg/ha.
- 4.13 Effect of P and K supply on 6 leaf-corn mineral composition. Above ground part. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1976. (In: Kádár and Elek 1977). Field trial. Treatment: see Table 4.12
 Element, 0-3 supply levels, LSD 5%, Mean. As a function of P-supply (upper part), as a function of K-supply (lower part of the table).
- 4.14 Effect of NPK-supply on the crop resistance. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök. Long-term field trial. Infected plants in % of all plants. Powdery mildew (Wheat 1975), Ustilago (Maize 1976), Fusarium (Maize 1977), Alternaria (leaf-blight of potato 1978). Note: $LSD_{5\%}$ ($SzD_{5\%}$) values are the same for lines and columns. Treatment: See Table 4.12.

- 4.15 Effect of PK nutrition (supply) on crop yield. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, t/ha (In: Kádár 1980). Field trial.
Winter wheat grain (Kavkaz variety, 1975), corn grain (Mv-SC 380, 1976 and 1977), potato tuber (Desirée 1978). Note: See above. Explanation of the treatments: See Table 4.12.
- 4.16 Effect of PK-nutrition on the K/P ratio in plant tissue. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök. (In: Kádár 1980). Field trial. Treatments: See Table 4.12. 6-leaf-corn above ground part in 1976, corn-leaf before flowering in 1977, corn-stalks at harvesting in 1977, potato-leaf after flowering in 1978. Note: See Table 4.14.
- 4.17 Effect of nutrition on the cellulose decomposing activity of the soil after 3 months-exposition time. Decomposed cellulose in %. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök. Treatments: See Table 4.12.
Under winter wheat in 1974, under winter wheat in 1975, under maize in 1976, under potatoes in 1978. Collecting cellulose: before harvest time. Note: See Table 4.14.
- 4.18 NPK applied in the experiment during 11 years in t/ha. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1973-1984.
Nutrient levels: given N, P_2O_5 , K_2O ; given in form of ammonium nitrate lime with 25 % N, superphosphate with 18 % P_2O_5 and potassium chloride with 40 or 60 % K_2O . Treatments: See also Table 4.12.
- 4.19 Effect of fertilization on AL-soluble PK-level in plough layer. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök. Treatments: See Table 4.18.
Dept in cm, NPK-supply levels, $LSD_{5\%}$, Mean. Upper part of the table AL-soluble P_2O_5 , lower par AL-soluble K_2O ppm.
- 4.20 Estimated N-balance sheets of the experiment in kg/ha. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök. 1984-85. Treatments: See Table 4.18.
Items of the balance: given N, uptaken N, balance, difference (D), in the 0-3 m soil layer, as % of (D). NPK levels, in 1984 after 11 years (upper part) and in 1985 after 12 years (lower part of the table).
- 4.21 Estimated "total salt" balance sheet in the experiment in t/ha. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1984. Treatments: See Table 4.18. Items of the balance. Given with fertilizers: ammonium nitrate-lime, superphosphate, muriate of potash, total. In soil profile in cm, altogether, difference.
- 4.22 NO_3 -N and SO_4 balance of the experiment kg/ha. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1984-1985. Treatments: See Table 4.18.
Depth in cm, total (összesen), difference (különbség), NPK-levels, in 1984 after 11 years (NO_2+NO_3)-N, in 1985 after 12 year (NO_2+NO_3)-N, in 1984, in 1984 after 11 years (SO_4^{--}).
- 4.23 NPK applied in the experiment during 16 years in kg/ha. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1974-89. Treatments: See also Table 4.12. NPK levels, NPK-supply (poor, medium, satisfactory high or toxic) N given yearly, total NPK given in 16 years. Note: P application was split into two parts (1973 and 1980), while K was applied in 4 parts (1973, 1980, 1984, 1986).
- 4.24 Effect of fertilization on soil available nutrient content after 16 years. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1988. Treatments: See above. Note:

- NO₃-N in kg/ha, measure in 0-60 cm profile, while ammonium lactate-soluble PK and Olsen-P were measured in plough layer.
- 4.25 Effect of nutrition on yield weediness of malting barley. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1986. Treatments: See Table 4.18. N-levels, P-levels. LSD_{5%}, Mean. Above ground part kg/4 m green mass (05. 26); number of weed species piece/plot on 19. June; barley cover in % (19. June); grain and straw yield of barley at harvest (23. July). Note: See Table 4.14.
- 4.26 Effect of nutrition on malting quality and upper leaves damage caused by *Oulema melanopus*. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1986. Treatments: See Table 4.18. Total N-content of grain in %, soluble N-content of grain in %, ratio of 3rd-class grains in %, damage on upper leaves in % and TRN-values. Note: See Table 4.14.
- 4.27 Effect of nutrition on the yield and flowering period of oil flax. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1987. Treatments: See Table 4.18. N-levels, P-levels, LSD_{5%}, Mean. Grain yield g/m² (27. July), mass of stalks g/m² (27. July), mass of roots g/m² (27. July), date of flowerings begin in June, duration of flowering in days (June and July). Note: See Table 4.14.
- 4.28 Effect of nutrition on the area covered by oil flax and weeds. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1987. Treatments: See Table 4.18. N-levels, P-levels, LSD_{5%}, Mean. Oil flax cover in %, weed-cover in %, *Chenopodium album* and *Reseda lutea* cover in %, number of weed species, piece/plot. All data measured on 11. June 1987. Note: See Table 4.14.
- 4.29 Effect of nutrition on the mass and nutrient uptake of weeds under oil flax crop. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 23. July, 1987. Treatments: See Table 4.18. N-levels, P-levels, LSD_{5%}, Mean. Green mass of weeds g/m², air-dried mass of weeds g/m², uptake N kg/ha, uptake P kg/ha, uptake K kg/ha. Bottom note: See Table 4.14.
- 4.30 Effect of nutrition on some quality parameters of soybean seed. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1988. Treatments: See Table 4.18. N-levels, P-levels, LSD 5%, Mean. Mass of 1000 seeds in g; oil content of seed in %; C 18, C 18:2 and C 18:3 fatty acid content of the oil in %. Bottom note: See Table 4.14.
- 4.31 Effect of NPK-nutrition on the *Macrophomina phaseolina* infection of soybean in %. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, at harvest, 25. October, 1988. Long-term field trial. All the 64 treatments shown. Treatments: See also Table 4.18. N, P and K levels and combinations, mean (átlag). Lower part of the table: in the average of P and N treatments. Note: LSD_{5%} value for the main 4 averages: 8; for NxK, NxP and PxK two direction tables: 16; and for the single treatments: 33.
- 4.32 Effect of N-supply on the sugar content (%) and sugar yield (t/ha) of sugar beet. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1981. Long-term field trial. Note: N-levels are 0, 100, 200 and 300 kg/ha/year. See also Table 4.18.

- 4.33 Effect of nutrition on the yield and disease resistance of poppy. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1983. Treatments: See Table 4.12.
P-levels, N-levels, LSD_{5%}, Mean. Seed yield kg/ha, % of poppy-heads damaged by insects, mass of poppy-heads damaged by insects g/piece, infection by black mildew in %. Bottom note: See Table 4.14.
- 5.1 Effect of old and fresh P-application on the inorganic P-fractions of the soil. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, ppm P in plough layer, 1971. Old P₂O₅ kg/ha/8 years. Fresh P₂O₅ kg/ha/year in 1970-71. LSD_{5%}, Mean. Chang-Jackson fractions I-IV. Field trial.
- 5.2 Effect of build-up P-fertilization on the grain yield of wheat and the available P-content in the plough layer. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1972-1973. Long-term field trial.
Old-P, Build-up rate, Fresh P₂O₅ kg/ha/year in 1970-71. Given P₂O₅ kg/ha in 12 years, P-balance P₂O₅ kg/ha after 12 years, grain yield t/ha in 1972 (Jubilejnaja variety), grain yield t/ha in 1973 (Kiszombori variety). Surplus yield in 2 years t/ha, lactate-soluble AL-P₂O₅ ppm and NaHCO₃-soluble Olsen P₂O₅ ppm in 1972, P₂O₅ kg/ha in grain yield (two years' average).
- 5.3 Effect of build up P-fertilization on the inorganic P-fractions of the soil. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1973. Plough layer. Long-term field trial.
Old P, Build-up rate, Chang-Jackson I-IV. fractions, Total inorganic. P in ppm, surplus in % of unfertilized plots, distribution of the fertilizer-P in % of total.
- 5.4 Effect of PxK nutrition on the secondary nutrient content of winter wheat at the end of tillering. Above ground part, mean values of 8 replicates. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1975. Field trial. Treatments: See also Table 4.12. K-levels, P-levels, LSD_{5%}, Mean. Bottom note: See Table 4.14.
- 5.5 Effect of P and K supply on some element contents and their ratios in winter wheat at the end of tillering. Above ground part. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, means of the years 1974 and 1975. Field trial. Treatments: See Table 4.12. Element content or ratio, PK-levels, LSD_{5%}. Mean. As a function of P-supply (upper part of the table), as a function of K-supply (lower part of the table).
- 5.6 Effect of P and K fertilization on the available P and K content and the EUF (Electro-ultra-filtration) fractions in the plough layer. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1974-78. Field trial. Treatments: See Table 4.12.
Element, method, year, fraction. Build-up PK fertilization in 1973, P₂O₅ and K₂O kg/ha. LSD_{5%}, Mean. AL-P₂O₅, Olsen-P₂O₅, EUF P₂O₅ 1-2 and 3-6 fractions, total of 7 fractions in 1978.
- 5.7 Yield potential and crop responses relationship. A, B, C, D: economical maximum yield. 4=yields, x=fertilization.
- 5.8 P-induced Zn deficiency and yield loss of corn. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1970-1987.
19-year, old field trial, each second year corn planted (corn-wheat rotation). Grain yield loss t/ha/10 years compared to ideal NK+P₂O₅ treatment (50 kg

- P₂O₅ given yearly). Treatments, AL-P₂O₅ ppm in soil, leaf composition x=years of corn cultivation and age of the experiment.
- 5.9 Responses of maize to K-fertilization in Hungary as a function of soil texture. Long-term field trials in 1960-1990. A summary of literature data. Variables number of experiments, K(A) index number assessing soils texture, humus %, ammonium lactate soluble K₂O in ppm, optimum K₂O rate kg/ha in experiments as an average, grain yield t/ha without K, relative yield in % of maximum yield, yield surplus with K in t/ha.
- 5.10 Micro-heterogeneity of the plough layer as a function of PK build-up fertilization. Calcareous chernozem at Nagyhörcsök, 1974. The ammonium lactate-soluble PK-content of the subsamples determined after the 10th month following application. Field trial. Treatments: See also Table 4.12. Serial number of subsamples, P₂O₅ and K₂O rates given in autumn 1973. Minimum, maximum, maximum/minimum and mean values.
- 5.11 Standard deviation of the AL-PK contents of subsamples as a function of PK build-up fertilization and depth of sampling and time. July 1974 (0-20 cm), March 1983 (0-20 20-40, 40-60 cm).
- 5.12 Standard deviation and the number of subsamples relationship. y=CV of soil. x=number of subsamples.
- 5.13 Distribution of NO₃-N in 0-60 cm soil profile, kg/ha. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök. Long-term field trial. N treatment, 0, 100, 200, 300 kg/ha/year during a 12-year period.
- 5.14 Seasonal changes in the AL-PK contents of composite samples. Calcareous chernozem at Nagyhörcsök, 1983. Plough layer, long-term field trial. Time of sampling (from 15. March till 23. November in every 2 weeks), LSD_{5%}, mean, P₂O₅ and K₂O kg/ha given in 1973-83.
- 5.15. Seasonal changes in KCl-soluble NH₄-N and NO₃-N content of composite samples as a function of N fertilization in 1973-1983. Treatments: 0, 100, 200, 300 kg N/ha/year. Soil layer 0-60 cm, 10-year-old field trial.
- 5.16 Effect of N-fertilization on the available N-content of soil. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1981. y=mg/100 g soil. x=N treatment: 0, 100, 200, 300 kg/ha/year. 8-year-old field trial.
- 5.17 Mineral composition of some soil types according to Szabó (1861) In: Sporzon (1865). Mineral components, sampling sites. Sandy soil, clay soil, humous loam, silty loam, humous black earth "Szurkosföld". Early investigation, %. Mineral components: potassium, sodium, lime, magnesium, aluminous earth, ferric oxide, manganese, sulphuric acid, chloride, phosphoric acid, carbonic acid, silicic acid (hydrate), silicate, sand, humous, organic matter, combustible matter, total.
- 6.1 Plant mineral composition and growth relationship. y=growth or yield. x=mineral nutrient content. Heavy deficiency, deficiency, limit concentration (above), luxury consumption, toxicity area.
- 6.2 Dilution of nutrient element content in wheat during vegetation. Calcareous chernozem soils, 1978. Above ground part. Field sampling. Nutrient, time of sampling (from 7. April to 15. July). Element concentration (upper part), in % of tillering concentration (7. April).

6.3 Changes in element content of alfalfa during vegetation period. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1983-1984. Field experiment.

Yield and elements, cuttings in 1983, cuttings in 1984. On soil with poor P-supply (upper part of the table), and on soil with good P-supply (lower part of the table). Hay t/ha (Széna t/ha).

6.4 Estimation of the crop nutrition status as a function of element concentration and crop development according to Cerling (1978)

Development of plant stand	Element concentration in plant tissue	Factors effecting plant development
very weak	very low	strong nutrient deficiency
weak	satisfactory or high	other factors
medium	medium	nutrient deficiency
medium to good	medium to good	weak deficiency
good	satisfactory	optimum supply
good to medium	more than satisfactory	above optimum
weak to toxic symptoms	very high	harmful overnutrition

6.5 Effect of K-fertilization on the nutrition of maize. Calcareous sandy soil, Órbottyán. Treatments: 0, 80, 160, 240 kg/ha K₂O yearly. 5-6-year old field trial with corn monoculture. Upper part: 6-leaf corn above ground part in 1976, 6-leaf shoot in 1977, grain yield in 1976 and 1977 t/ha. Bottom note: optimum values estimated according to Bergmann and Neubert (1976), and Kádár et al. (1981).

6.6 Effect of P-fertilization on available P-content of soil, nutrient content of wheat shoot after tillering and grain yield. Winter wheat monoculture. Field long-term trial. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1973. P₂O₅ applied kg/ha/12 year, lactate-soluble P₂O₅ ppm, nutrients in shoot after tillering, grain yield t/ha, LSD_{5%} (SzD_{5%} at the bottom).

6.7 Estimation of the nutrient status in winter wheat based on the plant analysis data at the end of tillering.

Nutrient elements and ratio, limit values for estimation of nutrient supply: poor, medium, satisfactory, high. N-supply, P-supply, K-supply.

6.8 Assessment of corn nutrient status based on the composition of 30 cm high crop stand according to Bergmann and Neubert (1976) and on the nutrient ratios according to Elek and Kádár (1977).

Element and ratio, level of nutrient supply: low, satisfactory, high. Based on concentrations (upper part of the table) and on ratios (lower part).

6.9 Satisfactory NPK supply of winter rye based on plant analysis data obtained during vegetation. Element or ratio, ranges of satisfactory NPK-supply at tillering, shooting, heading, flowering. Element content (Cerling 1978, 1990) and ratio of elements (author's estimation).

6.10 Dry matter yield of 6-leaf corn, shoot and N/P ratio relationship. Pot experiment. Means of 2 experiments, 1978. y = dry matter g/pot. x = N/P ratio.

6.11 Soil available P-content and plant characteristics relationship in a dry and wet year. Long-term field trial with winter wheat after tillering. Calcareous

- chernozem at Nagyhörcsök. 1976: dry year, 1977: wet year. Lactate-soluble P_2O_5 ppm in 1977, dry matter kg/ha, P %, N/P ratio, P-uptake kg/ha, $LSD_{5\%}$, Mean.
- 6.12 N-fertilization and plant analyses characteristics after tillering in a dry and wet year. Long-term field trial with winter wheat (variety Kavkaz). Calcareous chernozem, Nagyhörcsök. 1976: dry year, 1977: wet year. Applied N kg/ha/14 years, dry matter kg/ha, N %, N/P ratio, N uptake kg/ha, $LSD_{5\%}$, Mean.
- 6.13 Effect of NxP nutrition on dry matter yield, N % and N/P ratio of 6-leaf corn plants. Pot experiment with calcareous chernozem soil, 1978. Applied P mg/kg, applied N mg/kg. Dry matter g/pot, N % in the shoot, N/P ratio. Mean. Note below: $LSD_{5\%}$ values are the same for lines and columns.
- 6.14 Macro elements concentration of sugar beet leaves as a function of age and position. Sampling: middle June 1981, Szarvas (Izsáki 1981). Age/position of leaves: outer, drying off leaves: outer fresh leaves, middle mature leaves, inner young heart-leaves, $LSD_{5\%}$, element % in dry matter.
- 6.15 Variability of nutrient element concentration in potato plant at the end of flowering. Above-ground part of separate plant shoots. Acid sandy brown forest soil. Field experiment. 18. July, 1979.
Serial number, mass of single plants in g, unfertilized plots (upper part), fertilized plots (lower part of the table), mean.
- 6.16 Variability of element concentration in poppy stalks at harvest. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1983. Long-term field trial.
Serial number, mass of single plants in g, unfertilized plots (upper part), fertilized plots (lower part of the table) mean.
- 6.17 Table attached
- 6.18 Estimation of nutrient supply of winter wheat based on both concentration and ratios at the end of tillering. Literature summary.
Element, low, satisfactory, high, author's name (year). Bottom notes: * in upper leaves at heading, ^{xx} estimated on concentration data.
- 6.19 Estimation of nutrient supply of corn based on both concentration and ratios in leaves before flowering. Literature summary.
Element, low, satisfactory, high, author's name (year).
Bottom note: * Estimated on concentration data and own experiments.
- 6.20 Estimation of nutrient supply of potatoes based on element concentration in leaves (foliage) during flowering according to Bergmann and Neubert (1976).
Element, low, satisfactory, high, author's name (year). Note: After emergence 50, 65, 80, 50-60, 70-80, 70-80 and 75 days (1-9 lines). In flower (Mg %), flowering begin (Fe, Mn), 75 days after flowering (Zn), 75 days after emergence (Zn), before flowering (Cu), in flower (Cu), 75 days after emergence (Cu, B).
- 6.21 Estimation of nutrient supply of sugar beet based on blade concentration and ratios at the end of June. Optimum values calculated for maximum sugar yield.
Element, low, satisfactory, high. Based on concentration (upper part), based on ratios (lower part of the table), felett (over), alatt (less than).

6.22 Estimation of nutrient supply of sugar beet based on middle blade concentration and ratios. (Calcareous chernozem, author's experiment, 1981). Element, data, low, satisfactory, high. For maximum root/sugar yield (concentrations and ratios in upper part of the table), for maximum foliage yield (concentrations and ratios in the lower part of the table). Data: End of June (Jún. vége), Begin of August (Aug. eleje).

7.1 Effect of contaminated water on the weight increase and water consumption of 77-day-old spearmint plants in the experiment of Woodward in 1699 (In: Russel 1973).

Source of water, weight of plants (when put in, when taken out), gained in 77 days in g, expense of water (i.e. transpiration in g), weight increase/water consumption. Source of water: rain-water, River Thames, Hyde Park conduit, Hyde Park conduit + garden mould.

7.2 Composition of nutrient solutions used by early investigators (In: Hoagland and Arnon 1950).

Sachs' solution (1860), Knop's solution (1865), Pfeffer's solution (1900): ingredient, g/litre water.

7.3 Composition of nutrient solutions of Hellriegel and Prjanishnikov (1900) according to Sokolov (In: Hewitt 1960).

Prjanishnikov's solution, Hellriegel's solution: ingredient, g/litre water.

7.4 Classification of nutrient solutions based on electric conductivity (EC) according to Benton (1983)

EC mmhos/cm	Total salt content, %	Response of crops (salt tolerance)	Qualification of the solutions
under 2	under 0.1	no response	no saline
2-4	0.1-0.15	only sensitive species	faintly saline
4-8	0.15-0.35	unfavourable	moderately
saline			
8-16	0.35-0.70	for halophytes only	very saline
over 16	over 0.70	for some halophytes only	extremely saline

7.5 Effect of PxZn fertilization on soil and 6-leaf stage corn. Pot experiment with calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök, 1981.

0-3 (levels of fertilization), LSD_{5%}, Mean. Items: applied P, lactate-soluble P in soil (AL-P), dry matter yield (shoot) g/pot. Element content in the shoots. Under line: Zn applied, lactate- and EDTA-soluble Zn in soil, Zn in shoots as a function of PxZn supply, Zn in roots as a function of PxZn supply.

7.6 Effect of PxZn fertilization on soil and 6-leaf stage corn. Pot experiment with calcareous sandy soil, Órbottyán, 1981.

0-3 (levels of fertilization), LSD_{5%}, Mean. Items: applied P, lactate-soluble P in soil (AL-P), dry matter yield (shoot) g/pot, and element concentration in the shoots. Under line: Zn applied, lactate- and EDTA-soluble Zn in soil, dry matter yield. Zn in shoots as a function of PxZn supply.

7.7 Effect of NxCu fertilization on soil and spring barley at tillering. Pot experiment with calcareous chernozem soil at Nagyhörcsök, 1982.

- N-levels, LSD_{5%}, Mean. Items: applied N, HN₄-N and NO₃-N in soil, Dry matter yield g/pot (shoots and roots). Nutrient content of shoots, nutrient content of roots, N content in shoots as a function of NxCu fertilization in %, Cu content of roots as a function of NxCu fertilization in mg/kg.
- 7.8 Effect of NxCu fertilization on soil and spring barley at tillering. Pot experiment with calcareous sandy soil, Órbottyán, 1982.
N-levels, LSD_{5%}, Mean. Items: applied N, NO₃-N in soil, EDTA-Cu in soil, dry matter yield g/pot (shoots), mineral composition of shoots. Cu content as a function of NxCu fertilization in shoots and in roots (lower part of the table).
- 7.9 Effect of KxB fertilization on soil and 4-6 leaf stage sunflower. Pot experiment with calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök, 1983.
0-3 fertilization levels, LSD_{5%}, Mean. Items: Applied K mg/kg soil, lactate-soluble K mg/kg (AL-K₂O) in soil, dry matter yield of shoots as a function of KxB fertilization g/pot, mineral composition of shoots, mineral composition of roots. Under the line: applied B mg/kg soil, hot-water soluble B mg/kg in soil, nutrients (Na, B) in shoots, nutrients in roots.
- 7.10 Effect of KxB fertilization on soil and 4-6 leaf stage sunflower. Pot experiment with calcareous sandy soil, Órbottyán, 1983.
0-3 K-levels, LSD_{5%}, Mean. Applied K mg/kg. Dry matter g/pot, K % in shoots, Na ppm in shoots, B ppm in shoots. Bottom note: LSD_{5%} values are the same for the lines and the columns.
- 7.11 Composition of Hoagland-Snyder's solution (1933). Salt tolerance experiment, 1984.
Ingredients (Macroelements), mg/litre, ingredients (Microelements) mg/litre.
- 7.12 Applied element concentrations mg/litre or %. Salt tolerance experiment, 1984. Code of treatment, concentration of elements applied in mg/litre, total salt burden in g/litre and %. Footnote: standard Hoagland's solution.
- 7.13 Effect of increasing salt concentration on 1 month old spring barley shoots and on the number of powdery mildew colonies. Salt tolerance solution culture experiment. Artificial infection.
Code of treatment, height in cm and %, weight of 20 shoots (fresh and air-dried) in g and in %. The standard Hoagland concentration was taken for 100 %. Dry matter %, number of colonies per 20 plants and in %.
- 7.14 Effect of nutrition on the dry matter weight of shoots and the number of colonies. Spring barley. Salt tolerance solution culture experiment, 1984.
y = dry matter yield of 20 shoots in g (first graph), number of colonies per 20 shoots (second graph). x = logarithm of Hoagland concentration (Artificially infected).
- 7.15 Applied nutrient concentrations in the solution experiment with cucumber, 1985.
Code of treatment, Hoagland solution series (with dilution or concentration of the standard Hoagland solution). N, P, K, Ca, Mg series, mg/litre. Footnote: standard or normal Hoagland concentration is represented by treatment N.4
- 7.16 Effect of nutrition on the 10-week-old cucumber and on the number of powdery mildew colonies. Nutrient solution experiment with artificial infection, 1985.

Code of treatment, height of shoots in cm, weight of 9 plants, dry matter %, number of leaves per plant, number of colonies per plant.

Upper part: standard Hoagland-Snyder series, lower part of the table: N solution series.

- 7.17 Effect of N-fertilization on soybean yield, air-dry matter at harvest, t/ha. Lysimeter experiment at Keszthely, 1986-1988.

At the end of August 1986, at the beginning of September 1987, at the beginning of September 1988. Footnote: foliar part estimated at the pod growing period.

Applied N kg/ha, main root, stems, foliar part, pods, seeds, total.

- 7.18 Effect of N-fertilization on the N-uptake up to harvest time. Soybean: lysimeter experiment, Keszthely, 1986-1988, N kg/ha/year.

Applied N kg/ha, main root, stems, foliar part, pods, seeds, total. At the end of Aug. 1986, at the beginning of Sept. 1987., at the beginning of Sept. 1988. Footnote: Foliar part estimated at the pod growing period (before harvest).

- 7.19 Estimated N-balances of the plots, kg/ha. Lysimeter experiments at Keszthely, 1986-1988.

Given in fertilizer, found in soil before fertilization, input by rain, total input, uptake by crop, found in soil at harvest according to balance sheet and according to soil analysis.

- 8.1 Soil types and number of sampling locations. Sampling: spring 1975.

Soil type, under corn, under wheat, together. Soil types, humous sand, chernozem, meadow chernozem, meadow soil, chernozem brown forest soil, brown forest soil, humous alluvial soil, meadow solonetz, total.

- 8.2 Characteristics of the studied soils in the plough layer. Sampling: spring 1975 (See also Table 8.1). Soil parameters studied: pH etc.

- 8.3 Mineral composition of crops grown on the studied soils. (See Table 8.1).

Winter wheat at tillering and 4-6 leaf stage corn plants taken as one.

- 8.4 Linear correlations between the soil available P, the plant P % and the 3-year mean yield averages. (See also Table 8.1).

Plant characteristics: wheat grain yield t/ha, corn yield t/ha, wheat shoots P % at tillering, corn shoots P % at 4-6-leaf stage, wheat+corn shoots P % taken together and separately on calcareous and acid soils. AL-P (lactate-soluble-P), Olsen-P (NaHCO_3 -soluble-P), H_2O -P (water soluble-P).

- 8.5 Correlations between soil and plant parameters ("r" values) using different functions for their description. Sampling: spring 1975. (See also Table 8.1).

x = soil parameters, y = plant parameters, N = number of samples; linear, quadratic, third-degree, invert (reciprocal), power, exponential and logarithmic functions. A. Soil (x) and plant (y) "r" values. B. Soil (x) and soil (y) "r" values.

- 8.6 Soil and plant parameters arranged into groups based on soil texture (K_A values). Sampling: spring 1975. (See also Table 8.1).

Soil and plant parameters, K_A value under 30 (sand), 30-38 (sandy loam), 38-43 (loam), 43-50 (clay). A. Means of soil parameters. B. Means of plant parameters.

- 8.7 Nutrient ratio standard values to estimate the nutrition status of corn, using the leaf beneath the ear before flowering (Beaufils 1971).
Supply category: strong deficiency, medium deficiency, weak deficiency, normal status (optimum), weak excess, medium excess, strong excess, mean of the optimum values.
- 8.8 Effect of NxP nutrition on the air-dry weight, element composition and DRIS-indices of the 4-6-leaf stage corn shoots. Pot experiment with calcareous chernozem soil, 1978. (See also Table 6.13).
N, P-treatment, Dry weight g/pot, Element in %, Ratios, DRIS indices, D-value (difference), crop response g/pot as a function of N and P nutrition, LSD_{5%}.
- 9.1 Effect of mining and of the natural geological processes (groundwater + rivers) on element movement according to Vester (1972) and Semb (1978), in 1000 t/year.
Element: iron, nitrogen, phosphorus, copper, zinc, lead, manganese, nickel, tin, molybdenum, antimony, silver, mercury. Chemical symbol, mining in Vester (1972) and Semb (1978), geological processes in Vester (1972). Footnote: Vester (1972) gives the known data of the 60ies, Semb (1978) those of the 70ies.
- 9.2 Agricultural sources of microelement pollution in soils, ppm. Element sewage sludges, P-fertilizers, liming agents, N-fertilizers, farmyard manure, pesticides. Footnote: Compiled from the data of several authors.
- 9.3 Some measured element concentrations in air from background, rural and urban sites mg/m³. (Antropogenic activity and consequences). Semb (1978).
Chemical symbol, unpolluted areas (remote sites), rural UK, urban areas.
- 9.4 Estimated mean concentrations of the main chemical elements in the earth-crust, seawater, plants, animals and men in ppm according to Pais (1991).
Element: oxygen, silicon, aluminium, iron, calcium, sodium, potassium, magnesium, titanium, hydrogen, phosphorus, manganese, sulphur, carbon, chlorine, fluorine, chromium, vanadium, zinc, nickel, copper, lithium, nitrogen, cobalt, molybdenum, boron, iodine, selenium. Chemical symbol, earth crust, seawater, plant, animal, men.
- 9.5 Enrichment factors in air (aerosol samples) relative to average soil concentrations (given by Bowen 1966) according to Semb (1978).
Element, chemical symbol, sampling sites. Note: Birken (1) and Snasa (2) industrialized South Norwegian sites, Anglia (3) represents rural area in UK.
- 9.6 Effect of N-overnutrition on the yield and quality of sugar beet. Calcareous chernozem, Nagyhorcsök, 1981 (See also Table 4.12).
Characteristics, N-supply kg/ha/year, LSD_{5%}, Mean. Characteristics: applied N kg/ha/8 years, found in 0-60 cm soil profile (spring 1981 before sowing) NO₃-N ppm, NO₃-N kg/ha. Yield t/ha at harvest: root, canopy, total. Root/canopy ratio, number of plants piece/plot, weight of average 29. June, 07. August, 02. October. Root quality: digestion %, refined sugar %, molasses %. Harmful N and ash-components: N, K and Na meq/100 g beet. Sugar yield: raw sugar, refined sugar t/ha.

9.7 Sources of groundwater load in Pfalz county, Germany, kg/km²/year according to Vester (1982).

Polluting sources, cemeteries sewage conduits, rubbish heaps, agriculture. Chemicals: sulphate, chlorid, nitrogen.

9.8 Composition of dry air according to Vester (1972).

Characteristics: volume %, weight %. Elements: nitrogen, oxygen, argon, carbon dioxide, air.

9.9 Sources of air-pollution in the FRG, 1000 t/year. (In: Vester 1972). Sources: heating equipments, enterprises, traffic, total in 1969/70, total in 1980 (estimated). Polluting agents: CO, SO₂, hydrocarbons, dust/soot.

9.10 Natural (biological) and anthropogenic emission of different atmospheric trace-gases according to Mészáros (1985).

Chem. Symbol	Biological sources Character and rel. intensity	Anthropogenic sources Character and rel. intensity
CO ₂	Respiration, decomposition 96	Heating, deforestation 4
CH ₄	Anaerobic decomposition 95-98	Mining, industry 2-5
	Digestion (intestine) (40-70)	Rice production (30-60)
CO	Oxidation of methane 50	Combustion, traffic 50
N ₂ O	Nitrification, denitrif. 92	Combustion, fertilization 8
NH ₃	Decomposition, digestion 90	Combustion 10
	Without animal husbandry (50)	With animal husbandry (50)
NO ₂	Nitrification 50	Combustion, traffic 50
SO ₂	Organic S oxidation 26	Combustion 74
CCl ₃ F	- 0	Spray-carriers 100
CCl ₂ F ₂	- 0	In refrigerants 100

() If rice production and animal husbandry regarded as anthropogenic

9.11 Biogeochemical distribution of N-reserves in the earth according to Haynes (1986).

Sources of N: lithosphere (Volcanic rocks, sedimentary rocks), atmosphere, biosphere, dissolved in the oceans, total. Total mass in % and million t.

9.12 N-cycle of the terrestrial biosphere (Haynes 1986)

Input	Million t/year	Output	Million t/year
Wet and dry sedimentation		Leaching, surface run-off	
Ammonia	90-200	Mineral	5-20
Nitrogen oxides	30-80	Organic	5-20
Organic N	10-100	Production of biogen (NO _x)	1-15
Biological fixation	100-200	Burning of fossils (NO _x)	10-20
Industrial fixation	60 - 80	Forest fires, heating (NO _x)	10-20
Atmospherical fixation (Lightenings)	0.5 - 30	NH ₃ -volatilization	36-250
		Denitrification (N ₂ +N ₂ O)	40-350
Total	290-690	Total	107-695

- 9.13 Total N-balance of the soils in some W-European countries in kg/ha according to Mehlhorn (1991).
 Countries: Netherlands, Denmark, Switzerland, FRG, England, Sweden.
 Year, million ha. Output by: plant products, animal products, total.
 Input: fertilizers, imported fodder, from the air, biological N-fixation, sewage sludges, total. Surplus. Footnote: authors cited.
- 9.14 Fluctuation of NO_3 in different plant species and plant organs according to Marschner (1985). In: Bergmann (1988). Plant species/organs: rich in water, crops: tomatoes, cucumber, peas, grapes. Tubers and roots: kohlrabi, potatoes, carrots, radish, turnips. Seeds, grains. Leaves of vegetables: lettuce, spinach, kohlrabi, carrots. Winter month poor in light.
- 9.15 Permissible NO_3 limit values in vegetables, ppm in fresh matter (In: Bedrna 1990).
 Vegetables: onions; garlic, leek, tomatoes, cucumber, potatoes, beans, peas; early tomatoes and cucumbers; carrots, parsley; savoy, cabbage, cauliflower, kohlrabi; squash; leafy vegetables (lettuce, spinach, early carrots); radish, early kohlrabi; early radish and lettuce, red beet.
- 9.16 Effect of NxP fertilization on the NO_3 -N content of spring barley during vegetation, ppm in dry matter. Calcareous chernozem, Nagyhörsök 1986. (Treatment: see also table 4.18).
 N-levels, PO-P_3 levels, $\text{LSD}_{5\%}$, Mean. In shoots at tillering (26. May), in shoots at earing (11. June), in straw at harvest (23. July), in grains at harvest (23. July). Footnote: $\text{LSD}_{5\%}$ values are the same for lines and columns.
- 9.17 Effect of N-nutrition on nitrate content of crops as a function of plant parts or age. Calcareous chernozem, Nagyhörsök, mg NO_3 -N/g dry matter. (Treatment: see also Table 4.18). 1976-1977: leaves at flowering 1976, leaves at flowering 1977. Winter barley 1979: shoots 28. May; shoots 11. June; straw, husks and grain at harvest. Sugar beet 1981: Petioles 29. June, blade 29. June, canopy at harvest, root at harvest. Oil rape 1984: shoots 17. April, roots 15. May, leaves 15. May, straw at harvest. Oil flax 1987: roots 10 June, roots 29. June, shoots 10. June, shoots 29. June, capsule at harvest. Hemp 1989: shoots 30. May, shoots 26. June, leaves 21. August. Peas 1990: shoots 11. May, straw at harvest, pods, grains at harvest. Malting barley 1986: (detailed data see Table 9.16): straw at harvest, grains at harvest.
- 9.18 Discovery of elements and proving of their essentiality for plants. In: Glass (1989).
 Chemical symbol, discoverer, year, proving essentiality, year. Ókortól ismert (Known since ancient times).
- 9.19 Permissible concentrations of harmful and toxic elements in sewage water when applied on arable land in Hungary (FM 1990).
- 9.20 Permissible concentrations of harmful and toxic elements in sewage sludges when applied on agricultural land in Hungary (FM 1990).
 Element and chemical symbol, ppm, kg/ha/year. Note: ppm in dry matter kg/ha/year permissible rate.
- 9.21 Permissible maximum (total amounts of polluting elements in Hungarian soils, ppm.

Chemical symbol, CEC meq/100 g soil, note. Footnote: ++ extraordinary precaution needed; xx when hop or grapes growing, or when above 5 % CaCO_3 in soil, 25 % increase permitted; o on grassland and soils with pH under 6.5 must be reduced to the half.

9.22 Total microelement content (ranges) in soils according to various authors in mg/kg. Element, as average, permissible, polluted (In: Kloké 1980).

9.23 Maximum permissible harmful element content in foodstuffs in mg/kg in Hungary.

Foodstuffs: flour and ground cereals, dry legumes, dried vegetables, dried fruits, fresh fruits (quick frozen), fresh vegetables, fresh potatoes, fresh mushrooms. Note: x Not necessary to determine limit values, except when copper-containing agents were used. In such cases allowable Cu content 10 mg/kg.

9.24 Maximum permissible toxic element content in fodder in Hungary, mg/kg.

Feedstuffs: plant raw materials, animal raw materials, raw materials with P content over 8 %, other raw materials, mixture for dogs and cats, mixture for milking cows, mixture for ruminants, mixture for young ruminants, mixture for pigs, mixture for chicks, other poultry-fodder, other fodder, premixes, mineral fodder, green flours + ground clover and alfalfa + dry and wet turnips, fish-meal.

9.25 Heavy metals in Swedish soils (In: Andersson 1990).

Name and chemical symbol: Mercury, cadmium, cobalt, nickel, copper, chromium, lead, zinc, manganese. Average contents in ppm, quantities in the top soil kg/ha, easily soluble fractions (soluble in 1 M NH_4OAc , pH 4.8) in %.

9.26 Annual bulk deposition of some trace elements at Uppsala in Sweden, g/ha/year. (In: Andersson 1990). Precipitation (csapadék) in mm.

9.27 Estimated Cd-balance for Swedish agriculture in 1985 (In: Andersson 1990).

Items of the balance, kg/year. Input by: fertilizers, FYM, sewage sludges, liming agents, total, precipitation, all together. Output: plant uptake, leaching, total. Balance sheet.

9.28 Effect of washing and rain on the dust and heavy metal pollution of plant samples drawn along a road in ppm. (In: Sámsoni 1973).

Plant species: acacia leaves, *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus*.

Treatments: unwashed, washed. Pollution in ppm: acacia leaves, *Chenopodium album*, *Amaranthus*. Footnote: 1st sampling 5. August 1969 (after a 25 day dry period), 2nd sampling 25. August 1969 (one day after a rainy period).

9.29 Effect of traffic on soil parameters, expressed in distances from the highway M-7, Hungary, 1991. Sampling depth: 0-10 cm. Representative composite samples were taken 1, 5, 10, 30 and 100 m from the highway. Distance from highway in m, texture, lactate-soluble ppm, NH_4OAc + EDTA (Lakanen and Erviö method) soluble ppm. Mean, $\text{LSD}_{5\%}$, F-test, nsz = not significant.

9.30 Available microelements in the 0-10 cm upper layer of soil samples taken along the highway M-7 (Hungary) as a function of distance from the roadside. Distance from the road in m, elements determined by Lakanen-Erviö method. Mean, $\text{LSD}_{5\%}$, F-test, CV %. Under the line: cultivated arable land at the

- experimental stations (background pollution): names of the stations. Footnote:
(-) under detection limit, nsz: not significant.
- 9.31 The same as Table 9.30. Determination by the KCl+EDTA method.
- 9.32 Microelement content of grass samples taken along the highway M-7 as a function of distance from the roadside. Sampling: 31. October 1991.
- 9.33 Possible accumulation of polluting elements in the 0-10 cm soil layer as a consequence of urban, industrial and traffic activity in Hungary, 1991.
Location of sampling, available elements determined by $\text{NH}_4\text{OAc}+\text{EDTA}$ method. Locations of sampling: different districts of Budapest, with and without industry, mean (n=52) of Budapest (under the line), mean (n=25) of highway M-7, Mean of unpolluted countryside (experimental station).
- 9.34 Macroelement composition of the most know fertilizers used in Hungary.
Commercial name of fertilizer, chemical symbol of active agents, element content in %.
- 9.35 Microelement pollution of fertilizers, ICP analysis: University of Horticulture, Budapest. (In: Kádár 1991).
Fertilizers: Ca-ammonium-nitrate 1982 and 1988, ammonium-nitrate 1985 and 1989, urea 1986, superphosphate 1983 and 1988, ammoniated superphosphate, Kola-phosphate, rock-phosphate, phosphorite, Arab Phosphate Rock, Thomas-phosphate (GDR), Lebanon triplesuperphosphate, Peretrix-6, Dutch 4196 and 4203 mixed fertilizer, Norwegian 4238 and 4291 mixed fertilizer, FRG 4197 mixture, muriate of potash 1974 and 1988, Thermophosphate.
- 9.36 Continued Table 9.35 (Explanations: see table 9.35).
- 9.37 Mineral composition of soybean. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1988 ICP analysis. Element, in the mean of the experiment, shoots 27. June, shoots 25. July, grains at harvest, straw at harvest. Note: (-) not detectable.
- 9.38 Mineral composition of tobacco. Acid sandy brown forest soil at Nyírlugos, 1988. Element, in the mean of the experiment, CV %. Note: - not detectable.
Code: 1 = upper leaves 1. August; 2 = lower leaves 1. August; 3 = leaves 14. October; 4 = stems 14. October. From the 27 elements studied, As, Ga, Hg, Mo, Se could not be detected.
- 9.39 Amounts and forms of nutrients applied in the pot experiment. Acid loamy brown forest soil, Ragály, mg/kg soil.
Elements, unlimed, limed, 0-3 = levels of nutrition. Forms of nutrients (under the line).
- 9.40 Effect of liming an N-fertilization on the microelement content of the 6-leaf maize shoots in ppm. Acid loamy brown forest soil, Ragály (Hungary).
Non-limed pots, limed pots, air-dry shoots g/pot on non-limed and limed soil. Under the line: occurrence of analytical data near detection limit range: element, in limed pots, in non-limed pots.
- 9.41 Effect of $\text{N}\times\text{K}$ fertilization and liming on the Sr and Se content of the 6-leaf stage corn shoots. Acid loamy brown forest soil, Ragály.
Liming, N levels, $\text{LSD}_{5\%}$, Mean. Non-limed, limed. Non-limed, limed (under the line). Note: $\text{LSD}_{5\%}$ values are the same for lines and columns.
- 9.42 Effect of $\text{N}\times\text{P}$ fertilization and liming on the Mn, Zn and Fe content of the 6-leaf stage corn shoots. Explanations: see Table 9.41.

- 9.43 Effect of P and K fertilization on the available element content in plough layer of soil. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1990. (Treatments: see also Table 4.18)
Elements and methods to determine, levels of P or K fertilizers, LSD_{5%}, Mean. Effect of superphosphate levels, effect of muriate of potash levels. Methods: lactate-soluble (AL-P₂O₅), NH₄OAc+EDTA (L-E P₂O₅), NaHCO₃-soluble (Olsen-P₂O₅). Footnote: Sr, B, Co, Ba, Na determined by Lakanen-Erviö.
- 9.44 Effect of N, P and K fertilization on the mineral composition of pea shoots, ppm. Long-term field trial. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1990. (Treatments: see also Table 4.18)
Elements, levels of NPK fertilizers, LSD_{5%}, Mean. Effect of N-fertilizer, effect of P-fertilizer, effect of K-fertilizer. Footnote: LSD_{5%} values are the same for lines and columns. NPK-supply: 0=poor, 1=medium, 2=high, 3=harmful.
- 9.45 Effect of PxK nutrition on the Sr content of peas, ppm. Long-term field trial. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1990. (Treatments: see also Table 4.18.)
P-levels, K-levels, LSD_{5%}, Mean. Shoots, pods, seeds. (Explanation: see Table 9.44).
- 9.46 Field trial with heavy metal treatments. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1991. Elements applied, rate of application kg/ha in 1991, chemical compounds. Footnote: all plots were fertilized with 100 kg N, P₂O₅ and K₂O per ha and year, resp.
- 9.47 Effect of heavy metal on 4-6-leaf stage corn shoots, dry matter kg/ha. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1991. (Treatments: see Table 9.46).
Elements applied, treated in 1991. LSD_{5%}, Mean.
- 9.48 Effect of heavy metals on the available element content in plough layer, ppm. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1991. (Treatments: see Table 9.46)
Elements applied, treated in 1991. LSD_{5%}, Mean. 1st sampling, 2nd sampling. Footnote: on the untreated soil As=0.2-0.4, Cd=0.1-0.2 ppm. Hg and Se undetectable.
- 9.49 Effect of heavy metal treatment on heavy metal composition of the 4-6-leaf stage corn in ppm. Field experiment. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1991. (Treatments: see Table 9.46)
Elements applied, treatment levels, LSD_{5%}, Mean. In shoots, in roots.
- 9.50 Effect of heavy metal treatment on heavy metal composition of weeds under the 4-6-leaf stage corn in ppm. Field experiment. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1991. (Treatments: see Table 9.46)
Elements applied, treatment levels, LSD_{5%}, Mean. Footnote: * corn and weeds practically died out.
- 9.51 Effect of fodder enriched with Al and P on the mineral composition of broiler chickens' organs. Feeding experiment at the Institute for Animal Feeding. Analysis done by RISSAC, 1991.
Elements determined, fodder, femur, milt, brain, testis, liver, kidney, lung, heart, muscle. Mean of the treatments in dry matter. Second part of the table: treatments (first column applied Al mg/kg, second column applied P mg/kg)

fodder): Al content as a function of the Al and P treatments, ppm in dry matter.

- 9.52 Effect of heavy metal treatments on the grain yield of corn, air-dry weight, t/ha. Field experiment. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1991. (Treatments : see Table 9.46).

Elements applied, treatment levels, LSD_{5%}, Mean. Total aboveground part (grains + stem + cobs), grain yield only.

- 10.1 Effect of moderate P-fertilization on continuous wheat production. Long-term field trial on soil poor in available P. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1973-1991.

Age and year of the experiment, crop sequence, grain yield t/ha *on P-control and P-fertilized plots), LSD_{5%}, yield surplus (t/ha and in %). Crop sequence: 8 years wheat, millet, alfalfa 3 years, spring barley, w. wheat 6 years. Footnote: applied P₂O₅ 120 kg/ha every 2nd year. In case of alfalfa hay t/ha.

- 10.2 Effect of moderate NPK-fertilization on yield with changing crop varieties. Long-term field trial on soil poor in available P. Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, 1974-1991. (Treatments: see also Table 4.18).

Age and year of the experiment, crop sequence, main yield t/ha (on unfertilized and on fertilized plots). LSD_{5%}, yield surpluses (t/ha and in %). Crop sequence: wheat, wheat, corn, corn, potato, w. barley, oat, sugar beet, sunflower, poppy, oil rape, mustard, spring barley, oil flax, soybean, fibre hemp, peas, triticale.

Note: fertilization was 100 kg/ha N yearly and maintaining moderate PK levels in soil N₁P₁K₁ treatment as see in Table 4.18.

- 10.3 Estimated macroelement demand of main field crops for a unit of production (For 1 t main product with the aboveground portion of by-products). Serial number, crop variety: wheat, rye, w. barley, spring barley, corn, sugar beet, potatoes, peas, soybeans, alfalfa hay, red clover hay, sunflower, oil rape, oil flax, fibre flax, fibre hemp, silage maize, hay of annual fodder plants, rice, tobacco, hay of grass-clover mixture, legume hay, meadow hay, pasture hay, oat, poppy, mustard, lupine hay, panicum, triticale.

- 10.4 Estimated fertilizer demand of sunflower given in kg for 1 t seed (with aboveground portion of by-products) as a function of soil nutrient supply. Estimated NPK-demand kg/t, coefficient depending on soil fertility level: poor, moderate, satisfactory, high, harmful. On heavy textured soil (sunflower with low fertilizer-demand), on light soils (high fertilizer-demand). Note: (-) no fertilizer. Coefficient = 1, when maintaining nutrient supply by fertilization.

- 10.5 Principles of P and K fertilization as a function of soil PK-supply categories and crop fertilizer demand.

Soil P and K supply categories, intensity of fertilization (coefficients) for: high-demand crops, low-demand crops, the whole rotation. Soil PK-categories: harmful, high, satisfactory, moderate, poor. Note: on satisfactorily supplied soil maintaining the soil nutrient supply according to the plant uptake.

- 10.6 Suggested limit values for soil available P and K categories. Plough layer.**
 Soil characteristics PK-supply categories: poor, moderate, satisfactory, high, harmful. Soil characteristics: acid, neutral, calcareous (for AL-P₂O₅), sandy, loamy, clayey (for AL-K₂O). Under (alatt), above (felett).
- 10.7 Effect of 1000-seed weight on the development of peas according to Mosolov (1951). In: Kreybig (1953).**
 1000-seed weight in g, aboveground mass g/plant, root mass g/plant, ratio shoots/roots, stem height in cm.
- 10.8 Effect of NxP fertilization on seed quality of oil flax. Calcareous chernozem, Nagyhöröcsök, 1987. (Treatments: see Table 4.18).**
 P-levels, N-levels, LSD_{5%}, Mean. Rotten germs %, impurities %, number of days needed for germination, healthy germs %. Note: LSD_{5%} values are the same for lines and columns.
- 10.9 Effect of fertilization on soybean seed quality. Calcareous chernozem, Nagyhöröcsök, 1988. (Treatments: see Table 4.18).**
 NP-levels, K-levels, LSD_{5%}, Mean. Unsound germs %, damaged germs %, rotten germs %. Note: see Table 10.8.
- 10.10 Effect of NxP and NxK fertilization on soybean seed quality. Calcareous chernozem, Nagyhöröcsök, 1988. (Treatments: see also Table 4.18).**
 P, K-levels, N-levels, LSD_{5%}, Mean. Soybean %, impurities %, healthy germs %. Note: see table 10.8.
- 10.11 Dry matter and element balance in a crop rotation of Boussingault (1834), kg/ha. In: Russel (1950).**
 Crop varieties, dry matter, carbon, hydrogen, oxigen, nitrogen, mineral part. Crop sequence: beets, wheat, clover hay, sheat, turnips as second crop, oats. Total during rotation, added in manure, difference (taken from air, rain or soil). Note: organic matter. C, H, O balance positive i.e. must be covered from air, water or soil (Boussingault's conclusion).
- 10.12 N-balance of different crop rotations in kg/ha according to Boussingault (1834). In: Russel (1950).**
 Rotation, N in manure, N in crop, excess in crop over that supplied in manure (per rotation, per annum).
 I. Potatoes, wheat, clover, wheat, turnips (as catch crop), oats
 II. Beets, wheat, clover, wheat, turnips (as catch crop), oats
 III. Potatoes, wheat, clover, wheat, turnips (as a second crop), peas, rye
 Jerusalem artichokes, two years
 IV. Dungen fallow, wheat, wheat
 Lucerne, five years
 Note: maximum yields obtained in rotations with legumes. Nitrogen might be assimilated by green plants tissue (Boussingault's conclusion).

Table 6.17: Suggested foliar sampling techniques for fertilizer guidance purposes. Sampling unit on large homogenous fields might be 12 ha or more. Representative sampling based on parallel composite samples consisting of at least 50 plants or 100 plant parts in row crops, and 16x0.5 m plant material taken diagonally parallel from the sampling unit.

Plant species	Age, stage	Calendar for sampling	Plant part to sample
Cereals	I. End of tillering	25-30 cm height	Aboveground plant
	II. Heading, earing	Sort depending	Aboveground plant
	III. Before flowering	Sort depending	Flag-leaf beneath the ear
Corn, sunflower	I. 4-6 leaf stage	20.05 - 10.06	Aboveground part
	II. Before flowering	15.06 - 15.07	Leaf beneath the ear/head
Beets	I. Closing the rows	15.06 - 15.07	Blades just developed
	II. Leaf-changing	01.08-30.08	Blades just developed
Potato	I. Flowering begin	15.06-30.07	Upper developed foliage
	II. End of flowering	15.07-30.07	Upper developed foliage
Rape, mustard, flax, poppy, hemp	I. Before shooting	25-30 cm height	Aboveground part
	II. Flowering's begin	Sort depending	Upper developed leaves
Soybean, peas, beans	I. Before shooting	25-30 cm height	Aboveground part
	II. Flowering's begin	Sort depending	Upper developed leaves
Alfalfa, clover	Before flowering	Sort depending	Aboveground part
Meadows, grassland	Before cuttings	All the year round	Aboveground part
Sunflower	I. 4-6 leaf stage	25.05 - 15.06	Aboveground part
	II. Before flowering	25.06 - 15.07	Under head developed leaves
Paprika, tomato	Before flowering	Sort depending	Upper 3rd or 4th leaf
Leaf-vegetables	Middle life time	Sort depending	Developed leaves
Root-vegetables	Before rooting	Sort depending	Developed central leaves
Melon, cucumber	End of flowering	Sort depending	Developed main shoot leaves

2nd EDITION
PRINCIPLES AND METHODS IN PLANT NUTRITION

by
IMRE KÁDÁR

	Page
1. HISTORY OF AGRICULTURE AND FERTILITY OF SOILS.....	9
1.1 Manuring before the time of mineral fertilizers.....	11
1.2 Development and importance of fertilizer use.....	12
1.3 Some aspects relating to fertilizer use efficiency.....	14
1.4 Plant nutrient demand in different farming systems	17
1.5 References.....	19
2. SOIL FERTILITY IN CONVENTIONAL FARMING PRACTICES	21
2.1 Maintenance of soil fertility without any manuring	21
2.2 Maintenance and increase of soil fertility by fertilization.....	23
2.3 Maintenance of soil fertility in North-Korean agriculture (Case-study).....	24
2.4 Long-term effect of cultivation on soil and pressure to manuring in North-Korean agriculture (Case-study).....	26
2.5 References.....	30
3. PRINCIPLES AND METHODS OF ESTIMATING NUTRIENT BALANCES	31
3.1 Methods for estimating nutrient balances on country-level.....	31
3.2 Nutrient balances of Hungarian agriculture between 1932-1975	36
3.3 Nutrient balance sheet of Hungarian agriculture between 1900-1984	39
3.4 Balance sheets, fertilizer use and soil fertility levels in Hungarian agriculture	44
3.5 Comparison of land use and farming practices in N-W-Europe and Hungary.....	48
3.6 Comparison of NPK-balances of Germany, Austria and Hungary	49
3.7 European trends in fertilizer use and the Hungarian development.....	51
3.8 NPK-balances in different regions of Austria	54
3.9 Summary and technical guidance for preparing nutrient balances.....	58
3.10 References.....	61
4. PRINCIPLES AND METHODS IN FIELD EXPERIMENTATION.....	64
4.1 Development of field trials and the agronomy science.....	65
4.2 Field experiments and early soil fertility research in Hungary	67
4.3 New approaches and recent views in establishing field trials	73
4.4 Mineral fertilizers as soil load in long-term field trials	86
4.5 Effect of nutrition on yield, quality, weed and disease occurrence in long-term field trials	90
	408
4.6 Advantages, disadvantages and limitations of field trials.....	103
4.7 Main types of field experiments	106
4.8 Summary and Future Research Needs.....	108
4.9 References.....	109
5. PRINCIPLES AND METHODS IN SOIL TESTING	113

5.1	The history of soil testing	114
5.2	Effect of P-fertilization on P-status of soil.....	115
5.3	Availability of soil nutrients and yield response to fertilizers.....	121
5.4	Limitations of routine soil testing procedures.....	125
5.5	Problems related to the fertilizer need assessment	128
5.6	Fundamentals of fertilizer recommendations based on soil testing.....	130
5.7	Principles and method of soil sampling	135
5.8	Sources of errors in soil sampling and the soil heterogeneity	137
5.9	Determination of the subsamples' number.....	138
5.10	Parallel representative sampling and repeated labor analysis.....	142
5.11	Requirements when preparing representative composite samples	143
5.12	Time of sampling and seasonal variations in soil data.....	146
5.13	Changing views on soil testing in Hungary	152
5.14	'Sigmond's activity and soil testing development.....	154
5.15	Soil testing after 'Sigmond	158
5.16	References.....	161
6.	PRINCIPLES AND METHODS IN PLANT ANALYSIS.....	169
6.1	The history and aim of plant analysis.....	169
6.2	Chemical composition and plant growth relationship.....	172
6.3	Chemical composition and plant age. The problem of species	174
6.4	The quality of nutrition. The ratio of nutritive elements	178
6.5	Effect of weather-related factors on concentration and the "year-effect"	184
6.6	Principles and method of plant sampling	190
6.7	Sources of errors in plant sampling and the plant heterogeneity.....	191
6.8	Fundamentals of fertilizer recommendation based on plant analysis.....	198
6.9	Plant analysis and the environmental issue. Future Research Needs.....	199
6.10	References.....	206
7.	PRINCIPLES AND METHODS IN POT EXPERIMENTATION	210
7.1	The history of pot experiments	210
7.2	Principles and method of nutrient solution culture	213
7.3	The problem of preparing nutrient solutions.....	215
7.4	Advantages, disadvantages and limitations of soilless culture.....	218
7.5	Characteristics of sand and soil cultures.....	220
7.6	Practical interpretation of pot experiment results.....	222
7.7	Experiments with nutrient solution	230
7.8	Principles and method in field microplot experimentation	236
7.9	Principles and method in lysimeter experimentation	237
7.10	References.....	242
8.	PRINCIPLES AND METHODS IN RESEARCH BASED ON PASSIVE OBSERVATION AND DATA-COLLECTION INVESTIGATIONS WITHOUT EXPERIMENTATION	245
8.1	General approach. Principles and fundamentals.....	245
8.2	Evaluation of the results obtained (Case-study)	247
8.3	The DRIS-method	256
8.31	Theoretical consideration	256
8.32	Practical application of the DRIS approach.....	258

8.33 Testing the DRIS approach in own experiments.....	260
8.4 References.....	263
9. ENVIRONMENTAL ISSUE IN PLANT NUTRITION STUDIES	267
9.1 Sources and consequences of pollution. General approach.....	267
9.2 Problem of toxicity and establishing toxicity limit values	274
9.3 Pollution in historical view. Man and environment relationship.....	276
9.4 Environmental protection measures in the international and national practice.....	281
9.5 Debates about fertilizer practice and pollution caused by fertilizers in Hungary at the end of the 1980ies	283
9.6 Nitrogen cycle and the nitrate issue	290
9.7 Phosphorus and potassium cycle and their relation to the environmental load	302
9.8 Microelements i.e. toxic heavy metals and the environment	303
9.9 Swedish agriculture conforming to environmental requirements.....	309
9.10 Traffic (Highway M-7), urban and industrial load (Budapest)	315
9.11 Mineral composition of fertilizers used in Hungary	321
9.12 Heavy metal content of crops in rural areas in Hungary	324
9.13 Effect of liming and fertilizer on the harmful element uptake of crops grown in pot and field experiments	328
9.14 Field experiment with heavy metals. First data obtained.....	334
9.15 References.....	342
10. PRINCIPLES OF ALTERNATIVE (SUSTAINABLE, ECOLOGICAL, ORGANIC) FARMING. FUTURE RESEARCH NEEDS AND PRIORITIES IN PLANT	348
10.1 Alternative and chemical agriculture compared.....	348
10.2 Alternative farming in a broader view	350
10.3 Food chain and the fertilizers	353
10.4 Farming practices and environmental pollution in W-Europe compared with Hungary.....	356
10.5 Administrative tasks and research priorities in Hungary	358
10.6 Preserving soil fertility in sustainable agriculture.....	362
10.7 Principles and method of fertilizer recommendation in an alternative farming system. Fertilizing sunflower. (A case study)	366
10.8 Is genetic degradation inevitable, when applying fertilizers?	372
10.9 About the energy-balance of different farming practices.....	377
10.10 References	380
ENGLISH SUMMARY	
Foreword.....	384
Tables	386
Content	408
Department Of Agrochemistry And Plant Nutrition	419
Books edited by the Research Institute.....	423

KÍSÉRLETI ÜGY SZELLEMI HAGYATÉKOK GONDOZÁSA

1. P-utóhatás, talajbani fixáció, előregedés, értékcsökkenés

Az MTA TAKI fiatal munkatársaként (az 1970-es évek elején) tanúja voltam az államilag dotált talajgazdagító P-műtrágyázásnak. Az alábbi gondolatok vetődtek fel bennem:

- Mi történik a talajban akkumulálódó, évente milliárd Ft értékű, növények által nem hasznosított P-műtrágyával? Milyen mérvű lekötődéssel, utóhatással, értékcsökkenéssel számolhatunk?
- Esetleg mennyiben hasznosulhat ez a növekvő készlet a nagyobb terméspotenciál (nagyobb P-igényű kultúrák), illetve a talajok javuló kultúrállapota által. Utóbbi része lehet a javuló P-ellátottság.
- Mennyiben őrizheti meg és mennyi ideig ez a megnőtt felvehető P-készlet a talaj termékenységét, amennyiben a P-trágyázás leáll? Pl. egy soron következő gazdasági válság vagy háborús esemény miatt 20 év múlva?

Egy 20 évre szóló kísérleti tervet dolgoztam ki. A kísérletet 1972 őszén indítottam és 22 év után zártam Csathó Péterrel, aki bekapcsolódott a vizsgálatokba. Az eredményekről több tudományos munka jelent meg a két évtized alatt. A tanulságokat 22 év után foglaltuk össze.

Csathó P. – Kádár I. (213). A P-trágyázás 22 éves utóhatása mészlepedékes csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. 62(19): 99-114.

A P-utóhatások vizsgálata terén az angliai Rothamsted-i iskola jutott a legmesszebbre. Ők látogatásomkor az 1980-as években elismerően nyilatkoztak modellkísérletünkről, mely továbbfejlesztette az angliai kísérletek (parcellafelezés) koncepcióit. Kísérletünkben a „friss” és az „előregedő” P-formák szabatosan összevethetők, illetve a P-fixáció mérhetővé vált az idő függvényében. Ezzel a P-utóhatásvizsgálatok tematikája terén a világ élvonalába kerültünk. A gazda vagy az ország eldöntheti, hogy ha van tőkéje azt érdemesebb a bankban kamatoztatni, esetleg a P-ral gyengén ellátott talajaiba forgatni.

Ezek az eredmények nem avulnak el és nem is amortizálódnak, mint egy vaskerítés vagy egy üres lakóház. Hasonlóan építhetünk rá, pl., mint a tömegvonzás törvényére. Kísérleteink eredményeit hasznosíthatja az utókor, építhet rá a következő nemzedék. A körülmények persze változhatnak (éghajlat, agrotechnika, növényfajok stb.), igény merülhet fel újra beállítani a kísérletet, ellenőrizni tanulságait az új körülmények, főként más tulajdonságú talajon, más

növényfajokkal. De az itt megismert összefüggések, tanulságok alapul szolgálhatnak a jövőben is.

2. A feltöltő/fenntartó műtrágyázás elmélete és gyakorlata (1.84)

Amikor a TAKI-ba kerültem 1968 tavaszán, az adag/arány kísérletek uralkodtak. Optimális NPK adagokat/arányokat kívántak meghatározni tájra, növényre, illetve talajtípusra. Ekkor, e koncepció keretében állították be az úgynevezett Egységes Országos Műtrágyázási Kísérleteket az 1967-1980 években. Eredetileg 26 termőhelyen az országban. Ez a koncepció eleve hibás volt. Nem a táblaszintű, talaj- és növényvizsgálatokra épülő szaktanácsadásból indult ki. A trágyahatásokat az adott tábla talajának tulajdonságait (főként a tápelemellátottsága) határozza meg. A genetikai típus önmagában nem mérvadó, hisz a „csernozjom talaj” lehet jól vagy rosszul ellátott pl. P-ral, lehet meszes vagy savanyú (kilúgzott), könnyű vagy nehéz vályog (ettől függhet a K-hatás vagy elmaradása), szerves anyagban szegény vagy gazdag stb.

Javasoltam ezért olyan kísérleti tervet, melyben az eltérő NPK tápláltsági/ellátottsági szintek és azok kölcsönhatásai vizsgálhatók. A kezeléseket talaj- és növényvizsgálatokkal jellemezzük. A trágyázási tapasztalatok kiterjesztése, extrapolációja táblaszintre ugyanis csak a TVG, NVG segítségével oldható meg. A kísérletet 1973 őszén állítottam be a mezőföldi kísérleti telepünkön. A 4N x 4P x 4K szint = 64 kezelés x 2 ismétlés = 128 parcellát jelentett. A különböző NPK ellátottságot 0, 500, 1000, 1500 kg·ha⁻¹ P₂O₅, illetve K₂O egyszeri adaggal, valamint 0, 100, 200, 300 kg·ha⁻¹·év⁻¹ N-adagokkal hoztam létre.

A 6 x 12 = 72 m² nagyméretű parcellákat a következő évben megfeleltettem, ráépítve az úgynevezett „fenntartó” 50, 100 kg·ha⁻¹·év⁻¹ P₂O₅, illetve 100, 200 kg·ha⁻¹·év⁻¹ K₂O adagokat. A fenntartó kísérleti résszel 128 + 128 = 256 parcellás kísérlet adódott. A fenntartó rész első éveinek eredményeit később Csathó Péterrel értelmeztük és közöltük. Ennek az adatbázisnak valójában nincs gazdája. Erre egy doktoranduszt lehetne ráállítani, aki a 4 évtizedes adatsort feldolgozhatná. Itt arra keresnénk a választ, hogyan lehet az egyszeri feltöltő PK trágyázással létrehozott eltérő PK-ellátottsági szinteket megőrizni, fenntartani a talajban.

Megemlítem, hogy az 1970-as években a fenntarthatóság problematikájának felvetése eredendően új dolog volt. Hiszen a fenntarthatóság, a fenntartható fejlődés koncepciója csak két évtizeddel később, az 1990-es évekkel jön el. Ezzel elébe mentem a nemzetközi trendeknek. Megemlítem azt is, hogy a kísérlet koncepcióját sokan ma sem értik vagy fogadják el bő 4 évtized után. Főnököm Sarkadi János és munkatársaim azonban néhány hetes szakmai vitát követően támogattak 1973-ban.

A kísérletben 25 szántóföldi növényfaj ásványi táplálását vizsgáltuk, illetve szaktanácsadási javaslatot dolgoztunk ki a gyakorlat számára. Táblaszinten alkalmazható talaj- és növényvizsgálati optimumokat, határkoncentrációkat adva. Adataink beépültek az MTA TAKI által ajánlott szaktanácsadásba. Az utóbbi 15 évben telepített gyepek díszlik a kísérletben. Bár a gyepekkel foglalkozó

hazai szakirodalom igen gazdag, a gyepek ásványi táplálásával foglalkozó fejezet (gyepek agrokémiája) nem volt megírva. Gyepes kiadványunk ezt a hiányt igyekezett pótolni, szintetizálva kísérleti eredményeinket, valamint a jelenkori hazai és nemzetközi ismereteket. A gyepek eltér a szántóföldi kultúráktól, külön világot, szemléletet képvisel növénytaplálási specifikumaival.

A kísérleti témalapon Ragályi Pétert tüntettem fel kísérletfelelősnek. A feladatnak részben már megfelelt. Rendszeresen végzi Csontos Péterrel és Szemán Lászlóval a gyepfajok évenkénti felvételezését és értékelését. A kísérlet 4 évtizede alatt megjelent összefoglaló munkák, melyek részben vagy egészben a kísérleti eredményekre épülnek, az alábbiak:

Kádár I. (1992): A növénytaplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 398 p.

Kádár I. (2012): A mezőföldi műtrágyázási tartamkísérlet első évtizedének tanulságai. MTA ATK TAKI. Akaprint. Budapest. 177 p.

Kádár I. (2013): A mezőföldi műtrágyázási tartamkísérlet tanulságai 1984-2000. MTA ATK TAKI. Akaprint. Budapest. 357 p.

Kádár I. (2013): A gyepek műtrágyázásáról. MTA ATK TAKI. Akaprint. Budapest. 290 p.

3. Örök rozs kísérlet, Örbottyán (6.41)

A kísérletet Láng István állította be 1959 őszén 10 kezeléssel x 5 ismétlésben = 50 parcellával. A kísérlet felelősének Csathó Pétert és Radimsky Lászlót javaslom. Formálisan Ragályi Péter szerepelt mellettem a témalapon, de valójában nincs a kísérletnek felelőse. Aki rendszeresen gondját viselné, a helyszíni beavatkozásokat ellenőrizné (műtrágyaszórás, agrotechnika, bonitálások, értékelések). A kísérlet fél évszázados eredményeit, valamint a homoktalajok termékenységével összefüggő kutatások tanulságait egy önálló kiadvány foglalta össze.

Kádár I. – Márton L. – Láng I. (2012): Az örbottyáni 50 éves örök rozs és egyéb műtrágyázási tartamkísérletek tanulságai. MTA ATK TAKI. Akaprint. Budapest. 172 p.

A kísérlet egyedülálló kora és „örök rozs” monokultúra jellege miatt. Az MTA ATK TAKI egyik fontos pillére. Megőrzendő, mint muzeális érték.

4. K-hatásgörbék vizsgálata tartamkísérletben, Örbottyán (6.54)

A kísérletet 1970-ben állította be KOZÁK MÁTYÁS. A K-műtrágya hatását 5-5 szinten vizsgálja 2 eltérő NP-alapon. A kezelések száma $2 \times 2 \times 5 = 20 \times 2$ ismétlés = 40. Az első 20 évben KOZÁK MÁTYÁS (1970-1990) a második 20 évben Kádár Imre volt a kísérletfelelős. Az eredmények tudományos közleményekben, valamint a korábban említett önálló örbottyáni kiadványban jelentek meg.

Kádár I. – Márton L. – Láng I. (2012): Az űrbottváni 50 éves örökrozs és egyéb műtrágyázási tartamkísérlet tanulságai. MTA ATK TAKI. Akaprint. Budapest. 127 p.

A kísérlet felelősének Csathó Pétert javaslom, aki a K-hatások vizsgálatával hosszú évek óta foglalkozik Mezőföldön. Ismeretes, hogy homoktalajokon a K az egyik terméskorlátozó tényező. Hazánkban ez a kísérlet egyedülálló és megőrzendő kutatási tematikája és tartamjellege miatt. Annál is inkább, mivel az OTK kísérletek homoki termőhelyeken nem folytak.

5. Mikroelem terhelési kísérlet Nagyhörcsök (1.5)

A kísérlet 1991 tavaszán indult 13 elemmel x 4 terhelési szinten = 52 kezeléssel x 2 ismétlésben, azaz összesen 104 parcellával. A kísérlet első 2 évtizedének eredményeit egy 359 oldalas kiadvány összegzi.

Kádár I. (2012): A főbb szennyező mikroelemek környezeti hatása. MTA ATK TAKI. Budapest. 359 p.

A kísérlet „alvó” kísérlet gyepnövényt. Nincs felelőse, de ha igény mutatkozik, bármikor vizsgálható. A mikroelemek egy része megkötődött a feltalajban, egy része kimosódhatott (Se, Cr, Mo), egy részét felvette a növényzet, sőt egy része metilációval a légkörbe távoztathott. Monitorozást volna célszerű pl. 5 évente végezni:

- Talajvizsgálatokkal: felvehetőség, frakciók módosulása, stb.
- Növényanalízissel: ellenőrizni a növényi felvehetőség alakulását
- Talajbiológiai feltárásokkal: talaj életközösségeinek változása

Tehát a kísérlet doktoranduszoknak témát kínálhat. A kísérletet úgy kell megőrizni, mint egy kis szabadföldi múzeumot. Egyébként sem lehet megszüntetni. A Cd-terhelés 25 évvel ezelőtt pl. maximálisan $810 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ volt, ami kb. $270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ a 20 cm rétegben. A megengedett $1\text{--}3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ az EU országaiban művelt talajon. Ez a veszélyes fém érdemben nem illan el, nem kötődik meg, nem mosódik ki. De nehezen felvehető a növények által. Ennyiben a táplálékláncot kevésbé veszélyeztetheti.

Háttérműveltsége, szakmai ismeretei alapján Csathó Péter lehet, akire a kísérlet rábízható. Megemlíthető, hogy pl. amennyiben a Cd-kezeléseket, a kísérletet fel kívánnánk számolni, a 90, 270, $810 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ Cd ($30, 90, 270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd) terhelésű parcellák (3 kezelés x 4 ismétlés = 12 db) szántott rétegének talaját veszélyes hulladékként kellene kezelni és elszállítani a megfelelő lerakóhelyre.

A kísérlet nemzetközi mércével mérve is egyedülálló, hasonló kiterjedt munkákról nincs tudomásunk a szakirodalomban. Ezzel a nehézfém/mikroelem kutatások élvonalába kerültünk. A kapott adatok, eredmények orientálhatják mind az agronómiai, mind a környezetvédelmi beavatkozásainkat a jövőben.

6. Mikroelem terhelési kísérlet, Órbottyán (2.5)

Itt csak 5 mikroelemet vizsgálunk 0, 30, 90, 270 mg·kg⁻¹ kevesebb terhelési szinten: Cr (III), Cr (VI), Cu, Pb, Se, Zn. A veszélyes Cd-terhelés itt nem szerepel. A 6 x 4 terhelés = 24 kezelés x 3 ismétlés = 72 parcellát adott. A kísérlet 1995-2010 között folyt 16 éven át, eredményeit egy 93 oldalas fejezet értékeli a Nagyhörcsők mikroelem terhelési kísérlet eredményeivel közösen publikált műben.

Az órbottyáni tartamkísérlet külön specifikuma a két Cr ionforma vizsgálata. A szennyvíziszapokban a Cr(III) forma található, mely nem jelent környezeti problémát, nem felvehető. Központi kérdés, hogy amikor az iszapok szervesanyaga a talajban elbomlik, képződhet-e a toxikus, rákkeltő Cr (VI) koronát forma. A nemzetközi szakirodalomban e kérdés vita tárgyát képezi. Ezért lett a meszes, jól szellőzőtt homoktalajon a két Cr-forma beállítva. A Cr (III) oxidációja nehezen bizonyítható, hisz ez a forma nem stabil. Gyorsan redukálódik pl. szerves anyag jelenlétében a talajban. Másrésről a növények felvehetik, esetleg kilúgózódhat a vizsgált felső talajréteg alá, így nehezen megfogható. A kísérlet koncepcióját ez képezte. A téma itt tovább vizsgálható.

Kádár I. (2012): A főbb szennyező mikroelemek környezeti hatása. MTA ATK TAKI. Akaprint. Budapest. 359 p.

A kísérlet itt is „alvó” kísérlet gyep növényvel. Nincs felelőse. Monitorozás itt végezhető. Csathó Pétert javasoltam kísérletfelelőssé jelölni.

7. OMTK kísérletek. Nagyhörcsők (AB1748)

Az A és B kísérlet egyaránt 20 kezelés x 4 ismétlés = 80 parcellás. Valójában NPK adag/arány kísérletek. Az „A” forgó: búza-kukorica- kukorica-borsó, míg a „B” forgó: búza-kukorica- kukorica-búza. A műtrágyázási kezelések azonosak. Eredetileg 26 termőhelyen voltak beállítva az országban. Ma már talán csak 6-8 helyen található. Az „A” és „B” forgó fenntartása (160 parcellával, több mint 2 hektár területtel) szakmailag indokolhatatlan. Érdemi új információt már a „B” forgó nem ad. Valójában a „A” forgó sem sokat (főként nem eredetit), ennek ellenére megőrzése intézeti érdek. Ezt is egy kis szabadföldi múzeumként illik kezelni.

Az „A” forgó 40 évének eredményeit leközlöttük, bemutatva hogyan kell feldolgozni és értékelni az OMTK tartamkísérleteket. Közleményeinket megküldtük a többi termőhelyen folyó kísérlet felelőseinek abban a reményben, hogy a 40 éves adatok közlésére országosan is sor kerülhet. Sajnos más kísérletfelelősök nem vették a fáradságot, hogy közzé tegyék eredményeiket. Saját közléseink:

Kádár I. – Márton L. (2005): Búza műtrágyázása a mezőföldi OMTK kísérletben 1968-2004 között. Növénytermelés. 54(1-2): 111-122.

Kádár I. – Márton L. (2007): Búza utáni kukorica trágyareakciója a mezőföldi OMTK kísérletben 1969-2005 között. Növénytermelés. 56(3): 147-159.

Kádár I. – Márton L. (2007): Kukorica utáni kukorica trágyareakciója a mezőföldi OMTK kísérletben 1970-2006 között. *Növénytermelés*. 56(5-6): 307-319. p

Kádár I. – Márton L. (2008): A borsó trágyareakciója a mezőföldi OMTK kísérletben 1971-2007 között. *Növénytermelés*. 57(1): 21-33.

Csathó Pétert és Radimszky Lászlót jelölöm az OMTK kísérletek felelőseinek. A kísérletek feldolgozásában eddig is Csathó Péter vett részt aktívan (publikációk), a kísérlet technikai vitelében pedig Radimszky László vesz részt aktívan.

Kérem az aláírt kísérleti tervlapokat a telepekre küldeni és a korábbi tervlapokat megsemmisíteni.

A kísérletek tervezését nem a kísérleti technika jelenti (elrendezés, randomizáció, stb.), hanem a tudományos koncepció. Mivel a szabadföldi kísérletezés igen költséges, az eredmények pedig évek vagy évtizedek múlva érnek be, a tervezés a jövőbe látást jelenti. A jövőt kell kutatni. A kreativitás keveseknek adatik meg azonban. Az 1950-es, 1960-as években rengeteg szabadföldi kísérletet állítottak be Magyarországon. Alapvetően azonban a zsákutcat jelentő adag/arány kísérleti koncepció mentén. Valójában módosított adag/arány kísérletnek minősülhet a nyírlugosi kísérlet, OMTK országos kísérletek, örök rozs kísérlet stb. A hatásgörbe kísérletek előrelépést jelentenek, amennyiben a talaj- és növényvizsgálati határkoncentrációk/optimumok megállapításokat célozzák. Ez pedig a táblaszintű okszerű trágyázási szaktanácsadás alapjául szolgál.

A célokat pontosan kell megfogalmazni. Az előremutató kísérletek mindig interdiszciplinárisak, vonzzák a rokontudományok képviselőit. Hiszen az igazi új ismeretek a határterületeken fedhetők fel, a kölcsönhatásokban rejtve. A nehézfém-terhelési tartamkísérletbe pl. több tucat kutató kapcsolódott több országból. A társszerzők nevei a kiadvány belső borítóján is megjelentek és összesen 127 publikáció tükrözi az együttműködést.

Gyakran a lassú, számunkra láthatatlan változások a legfontosabbak. Az ok/okozati összefüggések nehezen tárhatók fel. Ilyen pl. a talajok lassú kimerülése, elsavanyodása, légköri szennyeződése stb. A tartamkísérletek segíthetnek e problémák megértésében. Az elmúlt 6 évtized élő és már megszűnt tartamkísérletei az MTA Agrokémia és Talajtani Kutatóintézet szellemi hagyatékát képezik. Erre épülhet a jövő. Ezt a hagyatékot gondozni és ápolni kell. És tanulni erőnyeiből és hibáiból egyaránt.

Budapest, 2015. április 23.

Kádár Imre

MTA ATK TAKI
AGROKÉMIAI ÉS NÖVÉNYTÁPLÁLÁSI OSZTÁLY

*„A kísérletekre annál inkább szükség van,
minél előbbre haladtunk a megismerésben”*
DESCRATES

„Legjobb bizonyítás a tapasztalat, feltéve ha kísérletekre támaszkodik.”
FRANCIS BACON

Az osztály rövid története

Az 1949-ben létrehozott és többször átkeresztelt talajkémiai és trágyázási részlegekből alakul meg a Trágyázástani Osztály 1953 után. Ide kerül az 1970-es, 1980-as években személyi állományában meggyengülő, illetve szakmai vezető nélkül maradt Izotóp Laboratórium, Biokémiai Osztály, Homokkutató Osztály. A kibővült kutatási egység felveszi az Agrokémiai és NövénytaPlálási Osztály nevet. Szervezetileg hozzá tartoznak a Kísérleti Telepek, melyek száma korábban elérte a 13-at országos hálózatot alkotva. Jelenleg Mezőföldön (Nagyhőrcsök), Duna-Tisza közén (Órbottyán) és a Nyírségben (Nyírlugos) van kísérleti telep. Sarkadi János 1953-1989 között 35 éven át vezette a Trágyázástani, illetve a kibővült Agrokémiai és NövénytaPlálási Osztályt.

Kutatási tematika

- Műtrágyázási szaktanácsadás alapelveinek és módszereinek vizsgálata
- Homoktalajok termékenységének vizsgálata (savanyú és meszes homokok)
- Táblaszintű, üzemi, regionális és országos elemmérlegek módszertana
- Termesztett növényfajok tápláltsági állapotának vizsgálata növényanalízissel
- Az agrokémia és növénytaPlálás tudománytörténeti forrásai és tanulságai
- Szennyvíziszapok, mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladék vizsgálata
- Szennyezett talajok vizsgálata és remediációja. Fitoremediáció lehetőségei
- Toxicitási, tűrési határkoncentrációk megállapítása mikroelem szennyezőkre
- Ásványi elemek mozgása, kilúgzása, átalakulása a talajban
- Műtrágyák hatása a talajra és a növényre tartamkísérletekben
- Talajvizsgálati adatok és a tápelemhatások összefüggésének feltárása
- Ásványi elemek közötti kölcsönhatások (szinergizmusok, antagonizmusok) vizsgálata

- Tápláltság hatása a növény fejlődésére, termésére, minőségi jellemzőire, gyomosodásra, betegség-ellenállóságra, gyepfajok diverzitására, takarmányértékére (interdiszciplinális kutatások)
- Toxikus elemek mozgása a táplálékláncban (tudományközi együttműködéssel)
- Élelmiszerbiztonság: farmtól az asztalig (tudományközi együttműködéssel)
- Modellezés az agrokémiai és növénytáplálási vizsgálatokban
- Légköri talajterhelés vizsgálata (Makro-és mikroelemek depozíciója)

Kutatási témák

- 1) Istállótrágya hatásának összehasonlítása: 10 t= 30-25-60= N-P₂O₅-K₂O kg Istállótrágya N-je kb. 50-60%-ban hasznosul. Mikroelemforrás
- 2) Főbb szántóföldi növények összetétele a tervezett termés elemigényének számításához (kb. 30 növényfajra megadva + gyepek)
- 3) Növényanalízis/levélanalízis a növények tápláltsági állapotának megítéléséhez. Levélanalitikai optimumok (kb. 20 növényfajra).
- 4) Talajvizsgálati optimumok a főbb növényekre a talajtulajdonságok függvényében. AL-P₂O₅ a mészállapot, AL-K₂O kötöttség függvényében. A N a 0-60 cm NO₃-N készlet alapján, mely műtrágya-egyenértékű
- 5) Műtrágyázás adagja, ideje, módja. A PK 3-4 évre, N megosztva
- 6) Szaktanácsadási módszerek továbbfejlesztése
- 7) Talajvizsgálati módszerek tesztelése: AL-, DL, Olsen, Ca-AL, NH₄-acetát+EDTA
- 8) A P-előregedés vizsgálata egy 20 éves szabadföldi tartamkísérletben
- 9) Homoktalajok termékenységének vizsgálata
Savanyú homokok: N, P, K, Ca, Mg (48 éves tartamkísérlet)
Meszes homokokon: N, P, K és a H% függvényében a termékenység : K-feltöltés pozitív hatása, Ca túlsúlya ellen
- 10) Szennyvíziszapok, élelmiszeripari, vágóhídi hulladékok vizsgálata
- 11) Légköri terhelés vizsgálata: 28 kg Ca, 24 kg S, 15 kg N, 7 kg K (1970-es) 2000-ben
- 12) Nehézfémek, mikroelemek tartamhatásának vizsgálata szabadföldön
Hatásuk a talaj összetételére, biológiai aktivitására, talajéletre
a főbb növények termésére, összetételére, minőségére
a talajbani megkötődésre, kilúgzásra átalakulásukra
a talaj-növény-állat rendszerben való akkumulációra
- 13) Ásványi elemek közötti kölcsönhatások (P-Zn, Cu, Mo; N-Cu+kationok, K-kation antagonizmus) feltárása szabadföldi tartamkísérletben. Pl. a Mo-tartalom a növényben nagyságrendbeni változást szenvedhet az NxPxK kölcsönhatások eredőjeként.
- 14) Tápláltság hatása a gyomosodásra, betegségellenállóságra, a gyepfajok összetételének változására, takarmányértékének jellemzőire

DEPARTMENT OF AGROCHEMISTRY AND PLANT NUTRITION

Research areas (General topics)

- Principles and methods of fertilizer recommendation
- Fertility of acid and calcareous sandy soils
- Methods of element balances on field, farm, region and country levels
- Leaf analysis as method for assessing nutritional status of crops
- Sources of /and lessons drawn from the history of agrochemistry and plant nutrition
- Interactions among mineral elements within plant uptake
- Aerial deposition of elements and their agronomic significance
- Modelling in the agrochemistry and plant nutrition
- Food security: from farm to table. Sources of food contamination
- Movement of mineral elements, heavy metals in the food chain
- Soil data and fertilizer responses. Determination of limit values for soil fertility and soil toxicity.
- Possibilities of phytoremediation.
- Effect of fertilizers on soil and crop in long-term field experiments
- Effect of nutrition on crop development, yield, crop quality parameters, weedeness, ill-resistance
- Fertilization and grassland productivity (biodiversity, nutrition values etc.)
- Effective liming methods for remediation of acid soils
- Reuse of biomass of agroindustrial and communal origin as fertilizers (sewage sludges, waste of slaughterhouses and food industry, manures)

Detailed research topics

- 1.) Handling of manure in order to prevent the N-content in it. No mineral NPK
- 2.) Compare the effect of mineral fertilizer nutrients (N, P, K) and the effect of manure on the basis of equivalent NPK rate. 10 t # 30 kg N, 25-30 kg P₂O₅, 60-80 kg K₂O effective nutrients. The PK nutrients effective as in mineral fertilizers. The N-pool no so. Because of microbiological transformation about 50% of N-pool can be lost.
- 3.) Network of field experiments on different regions and soil types were established 50 years ago to test crop responses to P, K, N.
- 4.) To find connections between PK responses and the soil lactate-soluble soil PK. The 0-60 cm NO₃-N pool is equivalent to N-fertilizers.
- 5.) Working out methods and limit values for recommendation system. Low, well and high supply categories for soil. AL-method using P-categories taking consideration soil CaCO₃/pH; K-categories the soil colloid/clay content. Sandy soils poor in K, clay ones rich in.

- 6.) Plant/leaf analysis for the assessment of crops nutrient supply categories: low, middle (O.K.) high.
- 7.) Liming of acid soils (CaCO_3 , MgCO_3 dolomite) on acidic sand . Now we have a long-term field trial with 47 years.
- 8.) Effect of sewage sludges, wastes of food industry, slaughterhouses etc. on soil fertility. How much can be applied on different soils and crops.
- 9.) Fixing/aging of P on calcareous chernozem soil: half life time of efficiency 4-5 years. We had a 20 years study field testing.
- 10.) Effect of microelements (Al, As, Ba, Cd, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, Zn) both essential and toxic ones on soil fertility and on soil-crop-animal food chain in long-term field trials.
Effect on soil composition, biology, soil life, crop yield, quality, composition, feeding experiments with animals (chicken)
- 11.) Study of interactions among elements (P-Zn, P-Cu, P-Mo; N-Mo + others, and so on. K-cationantagonism) using long-term trial with field crops and grasses.
- 12.) Element balances made for plots, separate fields, farms, regions and the whole country. We assessed also the NPK-balance for the Hungarian agriculture during the 20th century.
- 13.) Uptake of elements with different crops/composition of harvested yields. Return with different fertilizers, manures, byproducts, industrial and communal wastes.
- 14.) How much coming from the air, dry and wet deposition on soil 1970-es: 28 kg Ca, 24 kg S, 15 kg N, 7 kg K (10 kg K_2O), 2000: $\text{NO}_3\text{-N}$ 5-20, $\text{NH}_4\text{-N}$ 10-31, total-N 30-48, Ca 6-60, K 6-16, S 2-21, Na 4-13, Mg 2-16, P 2-6 kg/ha/yr
- 15.) Study of about 30 crop sorts (nutrition x yield, quality, resistance against illnesses, weediness, uptake of macro-and microelements, etc.)
- 16.) Evaluation of the long-term effect and movement of microelements in the soil-plant-animal food chain: fixation, availability, leaching in soil; effect on crops yield, quality, accumulation; effect on animals domestic; on soil life, biological activity, fungi, microorganisms etc.

Compiled by Imre Kádár

October, 2009

**AZ MTA ATK TALAJTANI ÉS AGROKÉMIAI INTÉZET
KIADVÁNYAI**

BOOKS EDITED BY THE RESEARCH INSTITUTE

- ELEK ÉVA, KÁDÁR IMRE 1980. Állókultúrák és szántóföldi növények mintavételi módszere. Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium MÉM NAK. Budapest. 55 p.
- KÁDÁR IMRE 1991. A talajok és növények nehézfém-tartalmának vizsgálata. Környezetvédelmi Minisztérium – MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 104 p.
- KÁDÁR IMRE 1992. A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI (Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet). Budapest. 398 p.
- KÁDÁR IMRE 1993. A kálium-ellátás helyzete Magyarországon. Környezetvédelmi Minisztérium – MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 112 p.
- DITZ HEINRICH 1867. A magyar mezőgazdaság. Szerk.: Kádár I. (1993) MTA TAKI. BUDAPEST. Akaprint. 247 p.
- KÁDÁR IMRE, SZEMES IMRE 1994. A nyírlugosi tartamkísérlet 30 éve. MTA TAKI. Budapest. Akaprint. 248 p.
- CSATHÓ PÉTER 1994. A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrár-termelés. Szakirodalmi Szemle. Akaprint. Budapest. 182 p.
- KÁDÁR IMRE 1995. A talaj–növény–állat–ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. Környezetvédelmi Minisztérium–MTA TAKI. REGICON Nyomda. Kompolt. Budapest. 388 p.
- LIEBIG JUSTUS v. 1840–1876. Kémia alkalmazása a mezőgazdaságban és a növényélettanban. (Szerk.: Kádár I. 1996) MTA TAKI. Akaprint. Bp. 341 p.
- THAER ALBRECHT 1809–1821. Az ésszerű mezőgazdaság alapjai. Trágyázás-tan. (Szerk.: Kádár I. 1996) MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 100 p.
- NÉMETH TAMÁS 1996. Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA TAKI. Budapest. 382 p.
- KÁDÁR IMRE 1998. Kármentesítési Kézikönyv 2. A szennyezett talajok vizsgálatáról. Környezetvédelmi Minisztérium. Nyomda: FHM. Budapest. 151 p.
- LÁSZTITY BORIVOJ 2004. A nem-esszenciális elemek forgalma hazai gabona-félékben. Műegyetemi Nyomda. Budapest. 94 oldal.
- RAJKAI KÁLMÁN 2004. A víz mennyisége, eloszlása és áramlása a talajban. Licium-Art Kft. Debrecen. 208 oldal.
- NÉMETH TAMÁS, MAGYAR MARIANNA Szerk. 2005. Üzemi szintű tápanyag-mérleg számítási praktikum (Üzemi tápanyagmérlegek számításának alapelvei és módszerei). Spácium Kiadó és Nyomda Kft, Budapest. 116 p.

- NÉMETH TAMÁS (Szerk. 2005). A talaj vízgazdálkodása és a környezet. Ünnepi ülés Várallyay György 70. születésnapja alkalmából. MTA TAKI. Spácium Kiadó és Nyomda Kft. Budapest. 180 p.
- KOVÁCS GÉZA JÁNOS, CSATHÓ PÉTER (Szerk.): A magyar mezőgazdaság elemforgalma 1901 és 2003 között. Agronómiai és környezetvédelmi tanulságok. MTA TAKI-FVM, OPENART. Budapest. 264 p.
- LIEBIG, JUSTUS 1842. A szerveskémia alkalmazása az élettanban és a kórtanban. (Szerk. Kádár I. 2007) MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 132 p.
- WOLFF, EMIL 1872. Gyakorlati Trágyázástan. A fontosabb növényi tápanyagokról szóló bevezetéssel. Közérthető agrokémiai vezérfonal. (Szerk. Kádár I. 2007) MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 128 p.
- NÉMETH TAMÁS, NEMÉNYI MIKLÓS & HARNOS ZSOLT (Szerk. 2007): A precíziós mezőgazd. módszertana. JATEPress – MTA TAKI. Szeged. 239 p.
- WILHELM KÖRTE 1839. Albrecht Thaer élete és munkássága orvosként és mezőgazdaként.(Szerk.: Kádár I. 2007) MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 185 p.
- KÁDÁR IMRE 2010. Az MTA TAKI 60 éve (Kommentár nélkül). MTA TAKI. Akaprint. 120 p.
- KÁDÁR IMRE, SZEMES IMRE, LOCH JAKAB & LÁNG ISTVÁN 2011. A nyírlugosi műtrágyázási tartamkísérlet 50 éve. MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 110 p.
- KÁDÁR IMRE, MÁRTON LÁSZLÓ, LÁNG ISTVÁN 2012. Az örbottyáni 50 éves örökrozs és egyéb műtrágyázási tartamkísérletek tanulságai. MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 172 p.
- KÁDÁR IMRE 2012. A mezőföldi műtrágyázási tartamkísérlet első évtizedének tanulságai. MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 177 p.
- KÁDÁR IMRE 2012. A főbb szennyező mikroelemek környezeti hatása. MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 359 p.
- KÁDÁR IMRE 2013. A mezőföldi műtrágyázási tartamkísérlet tanulságai 1984-2000. MTA ATK TAKI. Budapest. 357 p.
- KÁDÁR IMRE 2013. A gyepek műtrágyázásáról. MTA ATK TAKI. Budapest. 290 p.
- KÁDÁR IMRE 2013. Szennyvizek, iszapok, komposztok, szerves trágyák a talajtermékenység szolgálatában. MTA ATK TAKI. Budapest. 346 p.
- KÁDÁR IMRE 2015. Összefüggések a talaj termékenysége és tápanyagellátottsága között. MT ATK TAKI. Budapest. 389 p.
- Kádár Imre 2016. A növény táplálás alapelvei és módszerei. MTA ATK TAKI. Budapest. 422 p.

Beszerezhetők a szerzők címén: 1022 Budapest, Herman Ottó út 15.

Postacím: 1525 Budapest, Pf. 35.

Tel./Fax: 212 2265

illetve letölthetők az MTA ATK TAKI
honlapról

<http://mta-taki.hu/kiadvanyok/szerzo-kiadvanyai>

